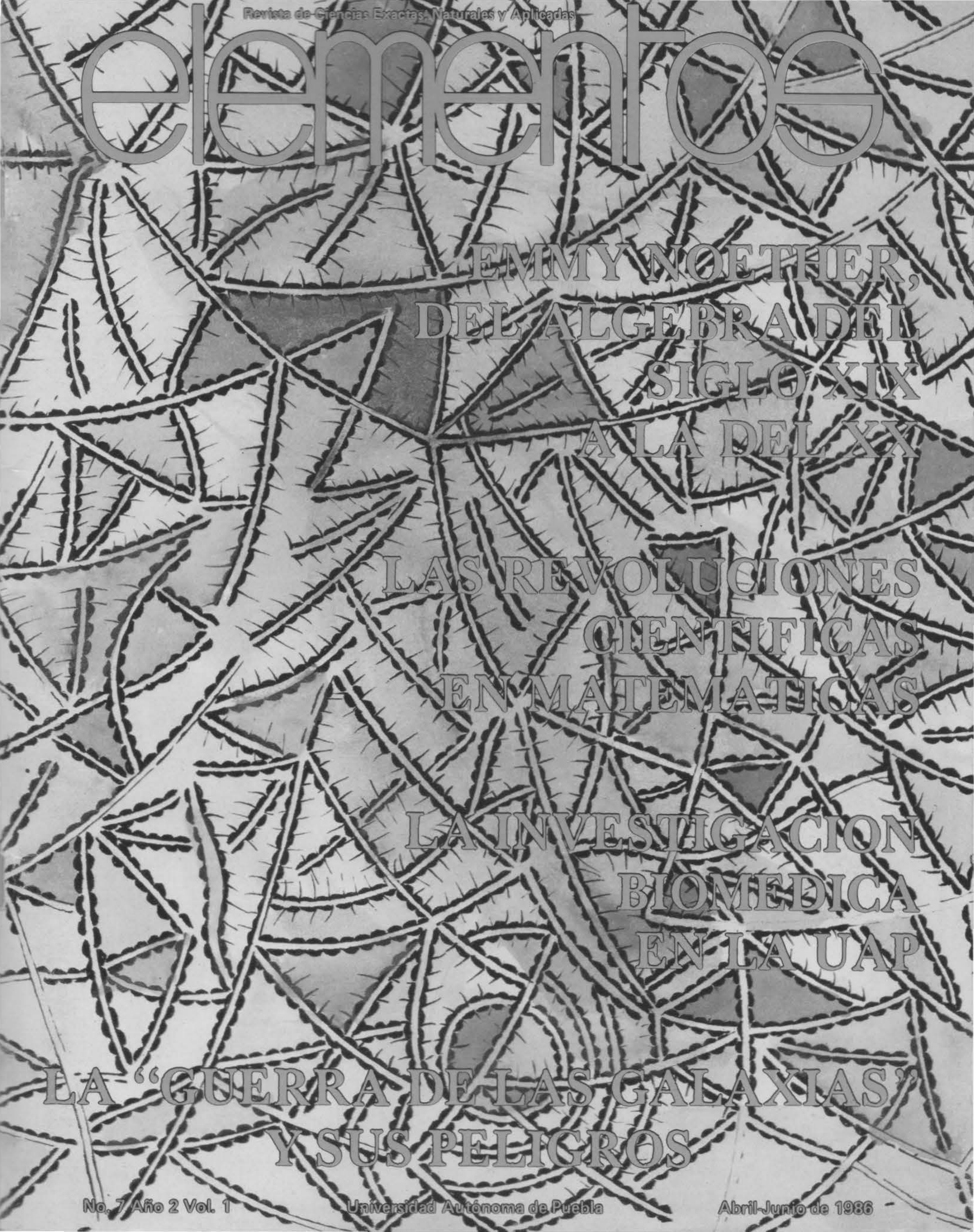


Revista de Ciencias Exactas, Naturales y Aplicadas
elementos
EMMY NOETHER, DEL ALGEBRA DEL SIGLO XIX A LA DEL XX
LAS REVOLUCIONES CIENTIFICAS EN MATEMATICAS
LA INVESTIGACION BIOMEDICA EN LA UAP
LA "GUERRA DE LAS GALAXIAS" Y SUS PELIGROS
No. 7 Año 2 Vol. 1
Universidad Autónoma de Puebla
Abril-Junio de 1986

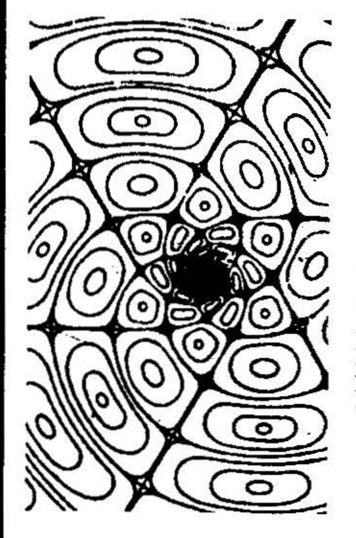
Revista de Ciencias Exactas, Naturales y Aplicadas

elementos

REVISTA TRIMESTRAL
No. 7 • Año 2 • Vol. 1
ABRIL-JUNIO DE 1986

La filosofía de la ciencia vigente se divide en dos bandos: *lógicos de la ciencia* e *historiadores de la ciencia*. Carnap, el círculo de Viena, Popper y otros estarían en el primer grupo, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, etc. en el otro . . . . p. 13





La unidad de conocimientos científicos se hace posible por la existencia de determinadas premisas, tanto en lo que respecta a la realidad objetiva como al conocimiento de ella . . . . p. 39



El pensamiento algebráico de Emmy Noether ha tenido una profunda influencia en el álgebra del S. XX . . . . . p. 5

EMMY NOETHER, DEL ALGEBRA DEL SIGLO XIX A LA DEL XX

Raymundo Bautista*



elementos núm. 7, año 2, vol. 1. Impreso en México

Introducción

Este año se cumple el primer centenario del nacimiento de Emmy Noether, destacada matemática alemana. Las contribuciones matemáticas de Noether se centran en el álgebra: teoría de invariantes, teoría de representaciones, álgebras no conmutativas, álgebra conmutativa. El pensamiento algebraico de Emmy Noether ha tenido una profunda influencia en el álgebra del siglo XX, ella junto con matemáticos de la talla de Kronecker, Dedekind, Frobenius, Brauer y otros dieron una nueva visión del álgebra con respecto a la del siglo XX.

Daremos una idea de la contribución de Noether a través de un ejemplo, el desarrollo de la teoría de representaciones de grupos.

La teoría de representaciones de grupos recoge una gran cantidad de ideas del siglo XX. Presentaremos aquí primero los problemas y resultados, que se remontan hasta Gauss, que influyeron en el desarrollo de la teoría de representaciones de grupos. A continuación veremos el trabajo de G. Frobenius, después consideraremos las ideas de Noether y por último daremos algún indicio de los desarrollos recientes influidos por Noether.

*Instituto de Matemáticas, UNAM. Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

Formas cuadráticas

En 1801 se publica en Leipzig, centro librero por excelencia en Alemania, las *Disquisitiones arithmeticae* de K. F. Gauss. En este libro se recoge el trabajo en teoría de números desarrollado durante la estancia de Gauss en Gotinga de 1796 a 1799. Este es uno de los trabajos más impresionantes de todos los tiempos y ejerció una influencia enorme en todo el siglo XIX y aun hasta nuestros días.

La teoría de los números trata del estudio de las propiedades de los números enteros, un tema central es el relativo a la solución de ecuaciones diofánticas, esto es, el problema de encontrar soluciones enteras $n_1, \ldots, n_s$ para ecuaciones $f(x_1, \ldots, x_s) = 0$ en donde $f(x_1, \ldots, x_s)$ es un polinomio con coeficientes enteros.

Los fundamentos de la teoría de los números fueron puestos por Pierre de Fermat (1601-1665) en una serie de trabajos esparcidos en cartas destinadas a distintos matemáticos europeos. Aunque los resultados de Fermat son impresionantes, éstos, así como los problemas planteados por él, no encontraron mucho interés entre los matemáticos de la época. Es hasta el siglo siguiente, en el que gracias al enorme prestigio de Leonard Euler (1701-1783), y al desarrollo que él mismo le impone a la teoría de números, que ésta alcanza gran prestigio y popularidad.

Es precisamente a través de la lectura de los trabajos de Euler que en Gauss se despierta enorme interés y deleite en la teoría de números al grado de declararla la "Reina de las Matemáticas".

Una de las partes fundamentales y más acabadas de las *Disquisitiones* es el capítulo V en el que se desarrolla la teoría de las formas cuadráticas:

$$f(x, y) = ax^2 + 2bxy + cy^2 ;\ a, b, c \text{ enteros}$$

El discriminante de f es por definición $D = b^2 - ac$.

Se supone en lo que sigue que a, b, c no tienen factor común distinto de 1 y -1, y si $D < 0$, $a > 0$, $c > 0$.

Si tenemos otra forma $g(x, y) = a'x^2 + 2b'xy + c'y^2$, se dice que f y g son equivalentes si existe un cambio de variables

$$x = \alpha x' + \beta y', \qquad y = \gamma x' + \delta y'$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ enteros $\alpha\delta - \beta\gamma = 1$ tales que

$$f(\alpha x' + \beta y', \gamma x' + \delta y') = g(x', y')$$

Resulta además que las dos formas tienen el mismo discriminante.

Un problema central en toda esta teoría es determinar los enteros n para los cuales existen x_0, y_0 enteros tales que $n = f(x_0, y_0)$. En tal caso diremos que n es representado por f. Claramente si f y g son equivalentes n es representado por f si y solo si lo es por g.

En el resultado de abajo, uno de los más destacados de las *Disquisitiones*, n denota cualquier entero representado por f, y si p es un primo impar no divisor de n:

$$\left(\frac{n}{p}\right) = \begin{cases} 1 & \text{si existe } x_0 \text{ entero tal que } n - x_0^2 \text{ es múltiplo de p} \\ -1 & \text{si no existe tal } x_0. \end{cases}$$

Teorema. Si p es un primo $\neq 2$, divisor de D, entonces $\left(\frac{n}{p}\right)$ permanece constante para toda n no divisible por p.

Si $D \equiv 3 \pmod 4$, $(-1)^{\frac{1}{2}(n-1)}$ $\begin{cases}\text{permanece constante} \\ \text{para toda n impar.}\end{cases}$

Si $D \equiv 2 \pmod 8$, $(-1)^{\frac{1}{8}(n^2-1)}$ $\begin{cases}\text{permanece constante} \\ \text{para toda n impar.}\end{cases}$

Si $D \equiv 6 \pmod 8$, $(-1)^{\frac{1}{2}(n-1)+\frac{1}{2}(n^2-1)}$ $\begin{cases}\text{permanece} \\ \text{constante} \\ \text{para toda n} \\ \text{impar.}\end{cases}$

Si $D \equiv 4 \pmod 8$, $(-1)^{\frac{1}{2}(n-1)}$ $\begin{cases}\text{permanece constante} \\ \text{para n impar.}\end{cases}$

Si $D \equiv 0 \pmod 8$ ambos $(-1)^{\frac{1}{2}(n-1)}$ y $(-1)^{\frac{1}{2}(n^2-1)}$ permanecen constantes para n impar.

Gauss introduce la idea de un carácter de f con las siguientes palabras (ver Hawkins [2]):

> Por lo tanto todos los números que pueden representarse por una forma primitiva f con determinante D tendrán una relación fija con los primos divisores de D (por las cuales no son divisibles). Además, números impares que pueden representarse por f tendrán relaciones fijas con los números 4 y 8, . . . A este tipo de relación con cada uno de esos números le llamaremos el *carácter* o el *carácter particular* de la forma f.

Tomando las clases de equivalencia de formas cuadráticas con discriminante fijo D, Gauss puede introducir una multiplicación entre estas clases, obteniendo un grupo abeliano finito *D*.

Dedekind probó después que para cada divisor primo impar p de D existen funciones

$$\chi_p : D \to \{1, -1\}$$

tales que $\chi_p(xy) = \chi_p(x)\chi_p(y)$ con $x, y \in D$ y xy la multiplicación de x e y en *D*.

Estas funciones dan los caracteres particulares de una forma f con determinante igual a D como sigue: Si por [f] representamos la clase f en *D* y p es un divisor impar de D, entonces para n representado por f se tiene

$$\left(\frac{n}{p}\right) = \chi_p([f])$$

También existe una función $\chi_2 : D \to \{1, -1\}$ con la propiedad $\chi_2(x)\chi_2(y) = \chi_2(xy)$ tal que por ejemplo si $D \equiv 2 \pmod 8$ n impar representado por f entonces $(-1)^{\frac{1}{8}(n^2-1)} = \chi_2([f])$ y similarmente para los otros valores de D módulo 8.

Las funciones χ_p son casos particulares de homomorfismos χ: $A \to \mathbb{C}^*$ con A grupo abeliano, $\mathbb{C}^* = \mathbb{C}$ sin el 0, considerado como grupo con la operación de multiplicación en $\mathbb{C}$.

Recordemos que si G_1 y G_2 son grupos, un homomorfismo f: $G_1 \to G_2$ es una función f tal que $f(xy) = f(x)f(y)$ para toda x e y en G_1.

Los homomorfismos χ: $A \to \mathbb{C}^*$ con A grupo abeliano recibieron el nombre de carácter del grupo A.

Dirichlet aplicó extensivamente esta idea en sus investigaciones de teoría de números usando series infinitas.

Sea $\mathbf{Z}_k$ las clases de congruencia mod k. Por $\mathbf{Z}_k^*$ denotamos las clases de congruencia de números n primos con k.; $\mathbf{Z}_k^*$ es un grupo abeliano con la multiplicación de clases de congruencia. Consideremos χ: $\mathbf{Z}_k^* \to \mathbb{C}^*$ un carácter de $\mathbf{Z}_k^*$.

Entonces una L-serie asociada a χ está dada por

$$L(s) = \sum_{(n,k)=1} \frac{\chi(\bar{n})}{n^s}$$

con la $\bar{n}$ la clase de n mod k.

Nótese de pasada que fijo p, la función $\bar{n} \to \left(\frac{n}{p}\right)$ es un carácter de $\mathbf{Z}_k^*$.

El determinante de un grupo, un hallazgo de Dedekind

En sus investigaciones sobre teoría de los números, Dedekind considera el siguiente determinante:

Sea G un grupo finito y $e=g_1, g_2, \ldots, g_n$ todos sus elementos, introduzcamos indeterminadas x_g por cada g en G.

Consideremos la n x n matriz $(x_{gh^{-1}})_{g \in G,\, h \in G}$

Sea $D(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n}) = \det(x_{gh^{-1}})$

Este es un polinomio en las indeterminadas $x_{g_1}, \ldots, x_{g_n}$ de grado n.

Supongamos ahora que G sea un grupo abeliano, entonces se puede probar que existen n diferentes caracteres de G, $\chi_1, \chi_2, \ldots, \chi_n$.

Tomemos uno de estos caracteres, digamos χ, multipliquemos el primer renglón de la matriz $(x_{gh^{-1}})$ por $\chi(g_1)$, el segundo por $\chi(g_2)$, . . ., el n-ésimo por $\chi(g_n)$, obtenemos:

$$cD = \det\begin{pmatrix} \chi(g_1)x_{g_1g_1^{-1}} & \chi(g_1)x_{g_1g_2^{-1}} & \ldots & \chi(g_1)x_{g_1g_n^{-1}} \\ \chi(g_2)x_{g_2g_1^{-1}} & \chi(g_2)x_{g_2g_2^{-1}} & \ldots & \chi(g_2)x_{g_2g_n^{-1}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \chi(g_n)x_{g_ng_1^{-1}} & \chi(g_n)x_{g_ng_2^{-1}} & \ldots & \chi(g_n)x_{g_ng_n^{-1}} \end{pmatrix}$$

con $c \in \mathbb{C}^*$.

Sumemos ahora todos los renglones al primero, entonces en la j-ésima columna del primer renglón se tiene:

$$\sum_{g \in G} \chi(g)x_{gg_j^{-1}}$$

Poniendo $h = gg_j^{-1}$ si g recorre G, h también; $g = hg_j$ y la suma queda así:

$$\sum_{h \in G} \chi(hg_j)x_h = \sum_{h \in G} \chi(h)\chi(g_j)x_h =$$

$$= \chi(g_j) \sum_{h \in G} \chi(h)x_h$$

Por tanto:

$$cD = \begin{pmatrix} (\Sigma\chi(h)x_h)\, x_{g_1g_1^{-1}} & (\Sigma\chi(h)x_h)x_{g_1g_2^{-1}} & \ldots(\Sigma\chi(h)x_h)x_{g_1g_n^{-1}} \\ \chi(g_2)x_{g_2g_1^{-1}} & \chi(g_2)x_{g_2g_2^{-1}} & \ldots\chi(g_n)x_{g_2g_n^{-1}} \\ \ldots & & \ldots \\ \chi(g_n)x_{g_ng_1^{-1}} & \chi(g_n)x_{g_ng_2^{-1}} & \ldots\chi(g_n)x_{g_ng_n^{-1}} \end{pmatrix}$$

$$= (\Sigma\chi(h)x_h)p(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})$$

Por tanto $\Sigma\chi(h)x_h$ divide a $D(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})$.

Estos polinomios son diferentes y primos entre sí para distintos χ, en consecuencia

$$\prod_{i=1}^{n} (\Sigma\chi_i(h)x_h) \text{ divide a } D$$

Como ambos son del mismo grado:

$$D(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n}) = c' \prod_{i=1}^{n} (\Sigma\chi_i(h)x_h)$$

Tomando $x_{g_1} = 1$, $x_{g_2} = \ldots = x_{g_n} = 0$, se tiene $c' = 1$. En consecuencia:

$$D(x_{g_1}, x_{g_2}, \ldots, x_{g_n}) = \prod_{i=1}^{n} (\Sigma\chi_i(h)x_h).$$

Si G no es abeliano, igual que antes se puede probar que D tiene tantos factores lineales $\sum_{h\in G} \chi(h)x_h$ como homomorfismos χ: $G \to \mathbb{C}^*$ se tengan. Sin embargo en este caso hay menos homomorfismos en $\mathbb{C}^*$ que el orden del grupo. Como el grado de D es n, D tiene más factores.

En ejemplos particulares, S_3 y los cuaternios, Dedekind pudo encontrar los otros factores irreductibles de D (que ya no fueron lineales) y ver su relación con el grupo.

Dedekind pensó inicialmente en considerar "sistemas numéricos" más grandes que $\mathbb{C}$ con el fin de obtener una factorización de $P(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})$ en factores lineales. Sin embargo, con la excepción de unos pocos casos no tuvo mayor éxito.

Dedekind se dirigió a G. Frobenius, recién nombrado sucesor de Kronecker en la Universidad de Berlín, haciéndole partícipe de sus descubrimientos, iniciándose una amigable correspondencia. En este intercambio, posteriormente no solamente le comunicó sus ideas sino le mandó sus cálculos sobre los grupos S_3 y los cuaternios.

La solución de G. Frobenius

Georg Frobenius (1849-1917) cambió el punto de vista de Dedekind pensando en lugar de extender los coeficientes, generalizar el concepto de carácter. Procedió de la manera señalada a continuación:

Tómese $h_1, h_2, \ldots, h_s$ un sistema de representantes de las clases conjugadas de G e introduzcamos variables $z_{h_1}, \ldots, z_{h_s}$.

En $D(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})$ hagamos la sustitución siguiente: tomemos x_g, entonces $g = uh_iu^{-1}$ para alguna $i \in \{1, \ldots, s\}$. Pongamos $x_g = z_{h_i}$. De esta forma obtenemos un nuevo polinomio en $z_{h_1}, \ldots, z_{h_s}$: $D^*(z_{h_1}, \ldots, z_{h_s})$.

Ahora se prueba que P^* se factoriza en factores lineales de la forma:

$$D^*(z_{h_1}, \ldots, z_{h_s}) = \prod_{i=1}^{n} (r^{(i)}(h_1)z_{h_1} + \ldots + r^{(i)}(h_s)z_{h_s})$$

En donde las $r^{(i)}$ son funciones de G en $\mathbb{C}$. De entre éstas se pueden escoger s, $r^{(i)}, \ldots, r^{(s)}$ linealmente independientes sobre $\mathbb{C}$. La relación con la $D(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})$ original es como sigue: sea

$$P(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n}) = \prod_{i=1}^{\ell} \Phi_i(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})^{e_i}$$

con $\Phi_i(x_{g_1}, \ldots, x_{g_n})$ polinomio irreducible.

Denotamos por $\Phi_i^*(z_{h_1}, \ldots, z_{h_s})$ el resultado de sustituir en las Φ_i las x_g por las z_h como arriba se indicó.

Entonces se tiene, después de una renumeración adecuada de los índices.

$\ell = k$ y $\Phi_i^*(z_{h_1}, \ldots, z_{h_s}) = (r^{(i)}(h_1)z_{h_1} + \ldots + r^{(i)}(h_s)z_{h_s})^{t(i)}$

A las funciones $r^{(i)}$ $G \to \mathbb{C}$, Frobenius las consideró como las generalizaciones de los caracteres de grupos abelianos y les llamó caracteres de dimensión superior.

Frobenius hizo un estudio muy detallado de las funciones $r^{(i)}$, encontrando relaciones muy interesantes entre ellas.

Estos trabajos fueron presentados a la Academia de Ciencias de Berlín los días 30 de julio y 3 de diciembre de 1896 bajo los títulos:

"Ueber Gruppencharaktere" y "Ueber die Primfactoren der Gruppendeterminante".

Un año después Frobenius encontró la interpretación que ahora se da a los caracteres.

Para cada $r^{(i)}$ existe un homomorfismo T_i: $G \to GL(n(i), \mathbb{C})$ con $GL(n(i), \mathbb{C})$ el grupo de matrices no singulares $n(i) \times n(i)$ con coeficientes en $\mathbb{C}$, tal que para cada h en G tenemos

$$\frac{\lambda^{(i)}}{H(h)} r^{(i)}(h) = \text{traza de } T_i(h) = trT_i(h) = \sum_{s=1}^{n(i)} A_{ss}^{(i)}(h)$$

en donde $T_i(h) = (a_{u,v}^{(i)}(h))$, λ^i es un factor de proporcionalidad y $H(h)$ = número de elementos en la clase conjugada de h en G.

La contribución de E. Noether

En su correspondencia con Dedekind, Frobenius apuntaba el hecho de que el teorema de Fermat, $a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$, a no divisible por p —un primo—, puede probarse ya sea usando únicamente la multiplicación o también la suma:

$(a + b)^p \equiv a^p + b^p \pmod{p}$. Estas observaciones lo llevaron a escribir: "Muchas veces he pensado cómo, a la multiplicación de elementos, se le podría añadir otra operación (adición)". (ver Hawkins [3]).

Esta idea fue completamente realizada por E. Noether, aunque desde luego ideas similares fueron consideradas mucho antes, pero su conexión clara y simple con la teoría de representaciones únicamente fue vista por ella.

La idea central es la consideración del álgebra de grupo: sea K un campo arbitrario y G un grupo, por KG denotamos la colección de funciones de G en K. Si f y h son dos de estas funciones, f + h está definida por $(f + h)(s) = f(s) + h(s)$.

Si $c \in K$, $(cf)(s) = cf(s)$.

El producto de las funciones f y h, fh se define como sigue si $s \in G$

$$fh(s) = \sum_{x\in G} f(x)h(x^{-1}s)$$

No es difícil ver que KG es con las operaciones anteriores un anillo. Si $g_1 = e, g_2, \ldots, g_n$ son los elementos de G, e = identidad de G, las funciones f_{g_i} definidas por

$$f_{g_i}(g) = \begin{cases} 1 \text{ si } g = g_i \\ 0 \text{ si } g \neq g_i \end{cases} \text{ forman una K-base de KG.}$$

Así que la dimensión de KG es igual a n = [G.1] = orden del grupo G.

Si $a, b \in K$, $af_e = bf_e$ si y solamente si a = b, además $(a+b)f_e = af_e + bf_e$, en consecuencia podemos identificar al elemento a en K con af_e en KG, así que éste último contiene a K en su centro y por tanto resulta una K-álgebra de dimensión finita.

También se tiene $f_{gh} = f_g f_h$ y $f_g = f_{g'}$, si y solamente si g = g'. Por tanto, G como grupo puede identificarse con la colección de elementos f_g de KG con la operación de multiplicación que existe en KG. Por esta razón podemos identificar a g con f. Con esta identificación los elementos de KG quedan escritos como $\Sigma\alpha_g g$, $\alpha_g \in K$.

Como apuntamos antes los caracteres de G están relacionados con homomorfismos T: G → GL(n, K). Otra idea de Noether fue la de relacionar este concepto con el de KG-módulo:

Si A es un anillo con unidad 1, M se llama un A-módulo si

(i) M es un grupo abeliano. Denotemos la operación de M por +.

(ii) Existe una función A × M → M tal que si denotamos la imagen de (a, m) por am se tienen las siguientes propiedades:

$$(a+b)m = am + bm; \quad a, b \in A, m \in M$$

$$1m = m, \quad m \in M$$

$$a(m_1 + m_2) = am_1 + am_2, \quad a \in A, m_1, m_2 \in M$$

$$a(bm) = (ab)m; \quad a, b \in A, m \in M.$$

Si M es un KG-módulo, como K está contenido en KG, M resulta también un K-espacio vectorial.

Ahora bien, si T: G → GL(n,K) es una representación de G, construyamos un KG-módulo. Sea $M = K^n$ = espacio vectorial n-dimensional. Si $g \in G$ y $m \in M$ $(\Sigma\alpha_g g)m$ se define por $\Sigma\alpha_g T(g)(m)$, en donde $T(g)\colon K^n \to K^n$ es la transformación lineal determinada por la matriz T(g) con respecto a la base $e_1 = (1, 0, \ldots, 0), \ldots, e_n = (0, 0, \ldots, 1)$ de K^n.

Recíprocamente sea M un KG-módulo y supongamos M de dimensión finita sobre K. Sea $y_1, \ldots, y_\ell$ una base para M como K-espacio vectorial y consideremos la aplicación $\psi(g)\colon M \to M$ dada por $\psi(g)m = gm$. Claramente $\psi(g)$ es una transformación K-lineal. Sea T(g) la matriz de $\psi(g)$ con respecto a la base $y_1, \ldots, y_\ell$. Entonces, como no es difícil ver $g \to T(g)$ constituye una representación de G en GL(ℓ, K).

Desde luego el anillo de grupo KG puede considerarse como KG-módulo, usando la propia multiplicación de KG.

Una de las contribuciones más notables de Emmy Noether es la forma de manipular los objetos algebraicos. Así en nuestro caso de KG-módulos un papel relevante lo juegan los morfismos de KG-módulos, las sumas directas, los submódulos. Recordemos las definiciones de los conceptos anteriores.

Si M_1 y M_2 son KG-módulos, un homomorfismo h: $M_1 \to M_2$ es una aplicación lineal h tal que si $\alpha \in KG$ y $m \in M$ $h(\alpha m) = \alpha h(m)$. Si h es biyectiva, llamaremos a h un isomorfismo. Dos KG-módulos se llamarán isomorfos si existe un isomorfismo entre ellos.

Un subconjunto N de M se llama KG-submódulo si N es un K-subespacio vectorial de M y si para toda $\alpha \in KG$ y $n \in N$, $\alpha n \in N$.

Dados dos KG-módulos M_1 y M_2 podemos formar $M_1 \oplus M_2$ como sigue:

$$M_1 \oplus M_2 = \{(m,n) \mid m \in M_1, n \in M_2\}$$

$$(m,n) + (m',n') = (m + m', n + n')$$

Si $\alpha \in KG$, $\alpha(m,n) = (\alpha m, \alpha n)$

De importancia central en las consideraciones de Noether es el teorema de Maschke:

Teorema. Supongamos que la característica del campo K no divida al orden del grupo G. Entonces si N es un submódulo de M, existe otro submódulo N' de M tal que M es isomorfo a $N \oplus N'$.

Como consecuencia del resultado anterior se obtiene que si M es de dimensión finita sobre K, M es isomorfo a una suma $N_1 \oplus \ldots \oplus N_t$ en donde cada N_i ya no contiene submódulos distintos del 0 ni de N_i mismo. Tales módulos se llaman irreducibles.

En particular KG es isomorfo como KG-módulo a $U_1 \oplus \ldots \oplus U_\ell$ en donde cada U_i es un KG-módulo irreducible.

Obsérvese ahora que si f: $U_i \to U_j$ es un KG-morfismo entre módulos irreducibles, f es isomorfismo o es cero. En efecto $f(U_i)$, la imagen de U_i es (0) ó U_j. Si $f(U_i) = 0$ entonces f = 0 y tenemos probada nuestra afirmación, en caso contrario $f(U_i) = U_j$. El núcleo de f, Kerf = [m| f(m) = o], es un KG-submódulo de U_i, como $f \neq 0$ Kerf $\neq U_i$, por tanto Kerf = 0 y en consecuencia f es inyectiva, como $f(U_i) = U_j$, f es suprayectiva, por tanto f es un isomorfismo.

Coleccionando a aquellas U_i que son isomorfas entre sí se tiene

KG es isomorfo como KG-módulo a

$$B_1 \oplus \ldots \oplus B_t$$

en donde cada $B_i = U_i \oplus \ldots \oplus U_i$ n(i)-veces y el único morfismo entre U_i y U_j si $i \neq j$ es el morfismo cero.

De aquí Noether concluye que KG es isomorfo como anillo al producto de anillos $M_{n_i}(D_i)$ $i = 1,\ldots, t$, en donde D_i es el conjunto de KG-morfismos de U_i en U_i. Por la explicación dada arriba cada elemento $f \neq 0$ de D_i tiene un inverso, entonces D_i es un anillo con división y $M_{n_i}(D_i)$ denota al conjunto de matrices $n_i \times n_i$ con coeficientes en D_i.

Ahora bien, si $K = \mathbb{C}$, cada $D_i = \mathbb{C}$ y $\mathbb{C}G$ es isomorfo como anillo al producto $M_{n_1}(\mathbb{C}) \times \ldots \times M_{n_t}(\mathbb{C})$. Se puede ver que para cada i, n_i = dimensión sobre K de U_i y cada U_i aparece en $\mathbb{C}G$ exactamente n_i-veces. Esto se prueba simplemente examinando el anillo $M_{n_i}(\mathbb{C})$ y sus submódulos mínimos. Esto da uno de los previos resultados de Frobenius. De hecho examinando la descomposición anterior de $\mathbb{C}G$ uno puede obtener todos sus resultados y la correspondiente generalización para campos cuya característica no divida al orden del grupo.

Relaciones con el trabajo de Frobenius

Como vimos antes KG como KG-módulo se puede descomponer en suma de KG-módulos irreducibles:

$$KG = U_1 \oplus \ldots \oplus U_1 \oplus \ldots \oplus U_t \oplus \ldots \oplus U_t$$

en donde cada U_i aparece n_i veces. Sea como antes $G = \{g_1 = e, g_2, \ldots, g_n\}$. Los elementos $g_1^{-1} = e$, $g_2^{-1}, \ldots, g_n^{-1}$ forman una K-base para KG. Sea o(g) la matriz de la multiplicación por g asociada a la base anterior.

Escojamos para cada copia U_i en KG una K-base, en esta base la multiplicación por g tiene por matriz:

$$\tau(g) = \begin{pmatrix} T_1(g) & & & & & & O \\ & \ddots & & & & & \\ & & T_1(g) & & & & \\ & & & \ddots & & & \\ & & & & T_t(g) & & \\ & & & & & \ddots & \\ O & & & & & & T_t(g) \end{pmatrix}$$

en donde cada $T_i(g)$ es la representación asociada de U_i.

Sean ahora $x_1 = x_{g_1}, \ldots, x_n = x_{g_n}$ indeterminadas. Es fácil verificar las siguientes igualdades:

$D(x_1, \ldots, x_n) = \det(x_{g_i g_j^{-1}}) = \det(\sigma(g_1)x_1 + \ldots + \sigma(g_n)x_n)$

Por otra parte existe una matriz no singular S tal que

$$S\sigma(g)S^{-1} = \tau(g) = \begin{pmatrix} T_1(g) & & & & & & O \\ & \ddots & & & & & \\ & & T_1(g) & & & & \\ & & & \ddots & & & \\ & & & & T_t(g) & & \\ & & & & & \ddots & \\ O & & & & & & T_t(g) \end{pmatrix}$$

Por tanto

$$\begin{aligned} D(x_1, \ldots, x_n) &= \det(\sigma(g_1)x_1 + \ldots + \sigma(g_n)x_n) = \\ &= \det(S(\sigma(g_1)x_1 + \ldots + \sigma(g_n)x_n)S^{-1}) = \\ &= \det(S\sigma(g_1)S^{-1}x_1 + \ldots + S\sigma(g_n)S^{-1}x_n) = \end{aligned}$$

$$= \det \begin{pmatrix} T_1(g_1)x_1 + \ldots + T_1(g_n)x_n & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & T_1(g_1)x_1 + \ldots + T_1(g_n)x_n & & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & & T_t(g_1)x_1 + \ldots + T_t(g_n)x_n & \\ & & & & & \ddots \\ & & & & & & T_t(g_1)x_1 + \ldots + T_t(g_n)x_n \end{pmatrix}$$

$$= \prod_{i=1}^{t} \det(T_i(g_1)x_1 + \ldots + T_i(g_n)x_n)^{n_i}$$

Cada uno de los factores $T_i(g_1)x_1 + \ldots + T_i(g_n)x_n$ es irreducible y corresponde a la representación T_i y entonces al carácter de ésta.

Si $h_1, \ldots, h_s$ son representantes de las clases conjugadas y ponemos $Z_i = Z_{h_i}$ y hacemos la sustitución de las x_i por las Z_i como en 4 se obtiene para cada h_i, si C_i representa el conjunto de elementos conjugados:

$$\Phi_i(x_1, \ldots, x_n) = \det(T_i(g_1)x_1 + \ldots + T_i(g_n)x_n)$$

$$\Phi_i^*(z_1, \ldots, z_s) = \det(\sum_{i=1}^{s} (\sum_{y \in C_i} T_i(y))z_i)$$

No es difícil ver que $\sum_{y \in C_i} T_i(y) = c_i I$ con I matriz identidad $\therefore d_i C_i = |C_i| \mathrm{tr} T_i(h_i)$

$$\therefore C_i = \frac{|C_i|}{n_i} \mathrm{tr} T_i(h) \text{ con } |C_i| = \text{cardinalidad de } C_i$$

$$\therefore \Phi_i^*(z_1, \ldots, z_s) = (\sum_{i=1}^{s} \frac{|C_i|}{n_i} \mathrm{tr} T_i(h) z_i)$$

por tanto las $r^{(i)}(h)$ de Frobenius son iguales a $\frac{|C_i|}{n_i} \mathrm{tr} T_i(h)$.

Desarrollos posteriores.

La teoría anterior permitió a E. Noether construir la teoría de representaciones a partir de estructuras algebraicas asociadas a la del grupo G, esto es KG y los anillos $M_{n_i}(D_i)$. En particular se obtuvo una teoría de carácteres de G sobre campos arbitrarios. En el caso general surge pues la necesidad de estudiar los anillos con división D_i.

En un trabajo posterior [1] E. Noether y R. Brauer, entonces un joven "Privatdozen" en Königsberg, estudiaron los anillos D_i. Entre otras cosas observaron que el centro de D_i, esto es la colección de elemento de D_i que conmutan con todos los elementos de D_i, se obtiene adjuntándole a K todos los valores del carácter asociado x_i. Estas consideraciones llevaron después a R. Brauer a estudiar la colección de anillos con división que tienen como centro un campo dado. Este concepto ha sido muy importante en el estudio de las propiedades aritméticas de campos.

Con posterioridad, desarrollando ideas de Noether, Frobenius y Schur, Brauer desarrolló una extensa teoría de carácteres modulares de grupos cuya influencia fue decisiva en la reciente clasificación de los grupos simples.

Finalmente quisiera mencionar que la importancia de los métodos introducidos por Emmy Noether rebasan el marco de los problemas particulares que ella trató. Estos métodos que primero presentó en sus conferencias en la Universidad de Gotinga fueron posteriormente redactados por B. L. van der Waerden [4] y [5]. Un poco después van der Waerden publica su famoso texto *Moderne algebre*, el libro más influyente en álgebra moderna por mucho tiempo, presentando las ideas de Noether en los capítulos 16 y 17 (ver [6]).

Referencias

1 Brauer R. y Noether E. Über minimale Zerfällungskörper irreduzibler Darstellungen, Sitzungsber. d. Preuss. Akad. d. Wiss. (1927), 221-228.

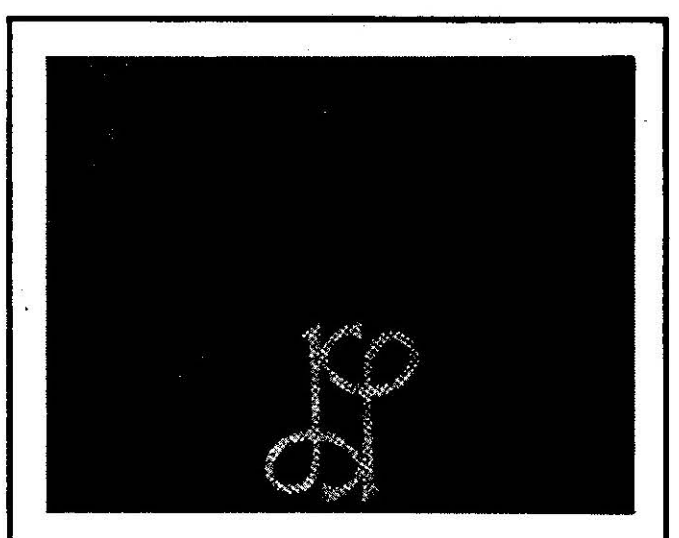
2 Hawkins, T. *The original of the theoru of group characters.* Archive for History of Exact Sciences 7, 142-170.

3 Hawkins, T. *New light on Frobenius' creation of the theory of group characters.* Archive for History of Exact Sciences 12, 217-243.

4 Noether E. Hyperkomplexe Grössen und Darstellungs theorie, in arithmetischer Auffassung, Atti Congreso Bologna 2 (1928) 71-73.

5 Noether E. Hyperkomplexe Grössen und Darstellungs Theorie, Math. Zeitschr. 30 (1929), 641-692.

6 Van der Waerden. *Moderne Algebre.*



CONTENIDO **No. 7/1985**

LAS REVOLUCIONES CIENTIFICAS EN MATEMATICAS: LA TEORIA DE CONJUNTOS*

Javier Echeverría Ezponda**



elementos núm. 7, año 2, vol. 1. Impreso en México

Introducción

La filosofía de la ciencia vigente en el siglo XX, por lo menos a partir de la Segunda Guerra Mundial, aglutina a sus cultivadores en dos grandes bandos que, prescindiendo de las innumerables posiciones intermedias, podrían denominarse, respectivamente, *lógicos de la ciencia* e *historiadores de la ciencia*. Carnap, el círculo de Viena, Popper y otros (lo que Putnam llamó *received view*) estarían en el primer grupo, mientras que Kuhn, Lakatos, Feyerabend, etc., preconizarían estudios minuciosos de historia de la ciencia previamente a cualquier reflexión global, y mucho más a cualesquiera prescripciones normativas, sobre las teorías científicas.

No afirmo con lo anterior que las posturas sean homogéneas en uno y otro grupo. Son bien conocidas las polémicas y las divergencias entre autores que, según esta dicotomía, quedarían adscritos a las mismas posturas básicas. Se trata más bien de subrayar la importancia que, a partir de los años 60, han tomado los estudios de historia, sociología e incluso psicología de la ciencia, por oposición a la preponderancia anterior de los análisis exclusivamente lógico-formales de las teorías científicas.

La llamada concepción estructural, al principio denominada no-lingüística, iniciada por Sneed en 1971[1] y continuada por autores como Stegmüller, Adams, Balzer y Moulines, pretende ser la síntesis de los dos bandos precedentes, conjugando el estudio histórico minucioso de las teorías con el ulterior análisis, altamente formalizado, de su estructura y evolución. Se aceptan conceptos kuhnianos como los de revolución científica, ciencia normal, anomalías, enigmas, paradigmas o comunidades científicas, pero a la vez se propone un aparato formal que permite el análisis diacrónico de las teorías. Independientemente de las críticas que van a ser expuestas a continuación, hay que reconocer que la concepción estructural ha abierto una nueva etapa en filosofía de la ciencia, en particular por lo que respecta a la estructura y a las características formalizables de la evolución histórica de la ciencia.

Para terminar con esta brevísima introducción, subrayaré la importancia de otro aspecto del debate: si, pese a las profundas divergencias, algo hay en común entre

* Este trabajo se basa en la comunicación presentada bajo el mismo título al I Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias, celebrado en La Habana, Cuba, del 21 al 25 de julio de 1985; se introducen, sin embargo, algunas correcciones y ampliaciones.

** Universidad del País Vasco.
Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Decanato, Apartado 1249, San Sebastián - Donostia.

todos los autores y escuelas mencionadas (con la excepción de Lakatos), consiste en la enorme importancia que conceden a la física a la hora de elaborar una teoría general de la ciencia. Las teorías matemáticas apenas son estudiadas por estos autores ni por sus seguidores, quienes se han centrado en las llamadas "ciencias con contenido empírico". Parecería que el prestigio de los estudios matemáticos, sobre todo a partir de Hilbert, Tarski y Göedel, agotase la filosofía de las matemáticas; sin embargo, es claro que la matemática no es instrumento válido de análisis de la historia de las matemáticas, con lo cual el cambio introducido por Kuhn en filosofía de la ciencia no habría llegado, excepción hecha de las investigaciones de Lakatos, a la filosofía de las matemáticas.

En 1976 Mehrtens[2] cuestionó la validez de las nociones kuhnianas para las matemáticas. Su diagnóstico era matizado: la idea de comunidad científica, o las matrices disciplinarias de los *Segundos pensamientos* de Khun, con sus generalizaciones simbólicas, sus modelos ontológicos, sus ejemplares y sus valores metodológicos, sí que eran aplicables a la filosofía de la matemática. Las nociones de crisis y de revolución científica, por el contrario, no tendrían equivalente en la historia de las matemáticas.

El presente trabajo trata de investigar este punto polémico en el caso concreto de la teoría de conjuntos. Pero sin duda habrá de ser ampliado y perfeccionado por medio de investigaciones históricas relativas a otras teorías matemáticas y a otros momentos de su historia, antes de que se pueda plantear una tesis general al respecto.

En cualquier caso, la restricción de la teoría de la ciencia a las disciplinas empíricas, y más concretamente a la física, es inaceptable. La filosofía de la ciencia ha de ser capaz de indagar, de ser posible



por la vía del estudio formalizado, los invariantes estructurales, sincrónicos y diacrónicos, de las teorías procedentes de las diversas ciencias conforme a estudios específicos de las mismas, en lugar de limitarse a proyectar sobre la historia de la biología, de las ciencias sociales o de las matemáticas esquemas de interpretación obtenidos exclusivamente del estudio de la historia de la física, como se ha venido haciendo en el presente siglo.

Interés del análisis de la historia de la teoría de conjuntos

En el presente trabajo me centraré exclusivamente en la teoría de conjuntos, y dentro de ella en sus primeras etapas: concretamente en sus primeras formulaciones por parte de Cantor. Varios motivos otorgan un atractivo especial ál estudio de la estructura de dicha teoría, entre los cuales mencionaré los cuatro siguientes:

1. Es indudable que, tanto por su emergencia como por su posterior desarrollo e implantación en la comunidad de matemáticos, por su influencia determinante sobre otras ciencias que utilizan su lenguaje como básico, por su difusión en la enseñanza universitaria y no-universitaria, etc., la teoría de conjuntos aparece como uno de los casos cruciales para determinar si en matemáticas ha habido o no revoluciones científicas en el sentido de Kuhn. Baste recordar, desde el punto de vista de la historia interna, la durísima polémica de Cantor contra el finitismo y el aritmetismo de Kronecker; las dificultades de Cantor para publicar sus artículos sobre teoría de conjuntos en el *Journal de Crelle,* así como para conseguir una cátedra en Berlín; los apoyos que buscó en matemáticos extranjeros (franceses, italianos, suecos) para romper el cerco de silencio tejido en Alemania en torno a ella; la fundación de una nueva sociedad de matemáticos en Alemania, la *Deutscher Mathematiker-Vereinigung,* con el propio Cantor como primer presidente, frente al poder académico de la época, la lenta y difícil progresión de la teoría en la comunidad de matemáticos, al menos hasta que Cantor encontró los decisivos apoyos de Klein y de Hilbert y hasta el Congreso Internacional de matemáticos en 1897. Estos y otros detalles históricos ofrecen muchos de los signos de lo que, a partir de Kuhn, se ha venido denominando revolución científica. La diferencia estriba en que, supuesto el finitismo de Kronecker como el paradigma rival, dicho paradigma no había entrado en crisis previamente ni desapareció luego tras el asentamiento de la teoría de conjuntos en la comunidad de matemáticos. Baste recordar que el propio Hilbert, desde posturas conjuntistas asumió buena parte del programa finitista, al proponer la matemática como alternativa a la crisis de fundamentos tras el descubrimiento de las paradojas. Otra diferencia estriba en que la llamada crisis de

fundamento no es una crisis en el sentido kuhniano: dicha crisis viene soportada por la propia teoría de conjuntos, es decir por la teoría que está en trance de imposición, y no de disolución.

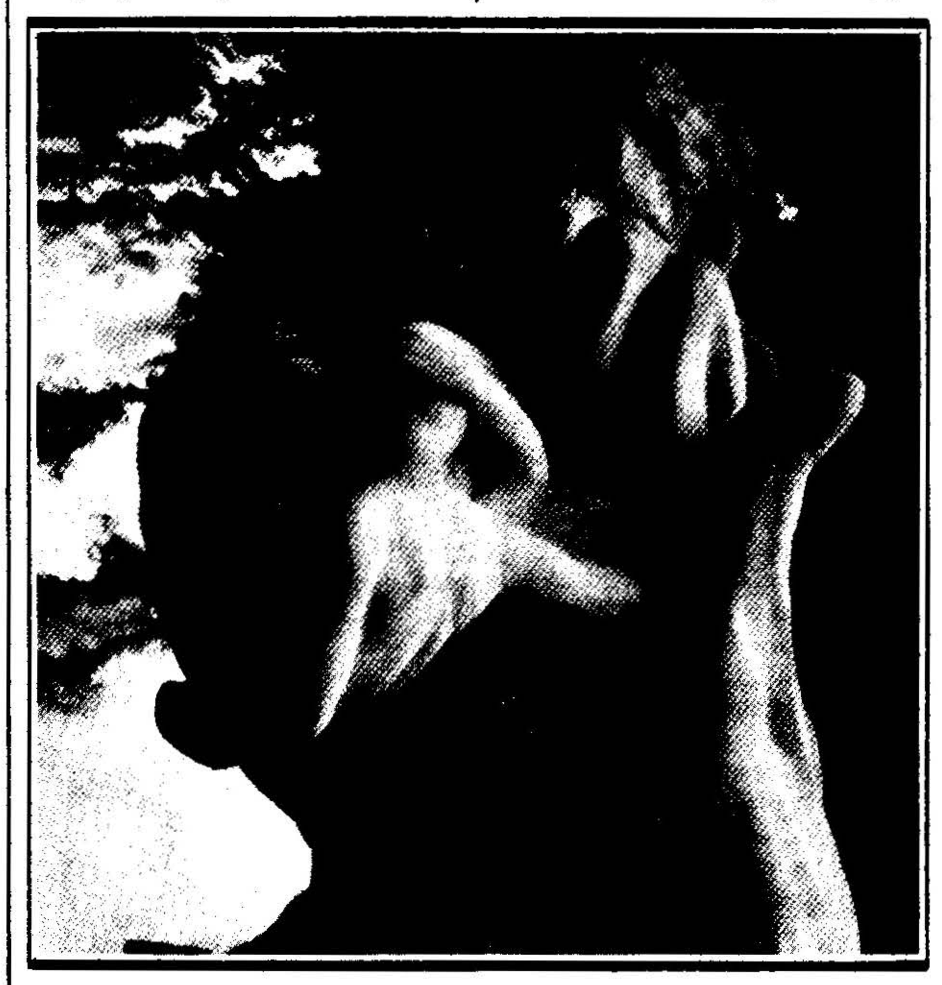
Otro elemento a tener en cuenta proviene de la incidencia de la teoría de conjuntos en la pedagogía de las matemáticas a lo largo del siglo XX. Su progresión en la escuela ha sido lenta y dificultosa, como se sabe, pero tampoco cabe duda de que ha logrado desplazar como libro de texto básico ni más ni menos que a los *Elementos* de Euclides, a los que ni siquiera el embate de las geometrías no euclídeas había alterado en su papel privilegiado a la hora de introducir las matemáticas en los primeros niveles docentes. La propia existencia de los diagramas de Venn representa a la perfección la noción kuhniana de *ejemplar*, radicalmente diferente de los anteriores (por ejemplo de las figuras geométricas clásicas). Desde otro punto de vista, la escritura por parte del grupo Bourbaki de una magna obra titulada significativamente *Elementos de matemáticas*, en la cual la teoría de conjuntos aparece como la fundamentadora de las restantes teorías matemáticas, es otro argumento más a favor de un cambio de paradigma: dicho tratado supondría la culminación de toda una etapa de ciencia normal ligada al paradigma conjuntista, el cual, tras la revolución de finales del siglo XIX, seguiría todavía vigente, sin que la teoría de categorías haya logrado todavía desplazarle.

2. La historia de la teoría cantoriana ha sido estudiada en los últimos años con mucho detalle, y ese trabajo previo de los historiadores de las matemáticas posibilita una reflexión global sobre la estructura de la teoría, así como sobre su desarrollo histórico. Piénsese por ejemplo en las monografías, entre otras muchas, de Meschkoski (1967),[3] Hawkins (1970),[4] Dauben (1979),[5] Moore (1982),[6] Grattan Guinness (1980)[7] y Hallet (1984),[8] así como en los múltiples artículos que las han preludiado. En lo que sigue será tenida particularmente en cuenta la penúltima y la última obra citadas.

3. La teoría de conjuntos puede ser considerada como una teoría con contenido empírico, en el sentido estructuralista del término. En efecto, existen leyes especiales y aplicaciones propuestas de dicha teoría, válidas en dominios empíricos. Baste como ejemplo la axiomatización de Kolmogorov del cálculo de probabilidades, que añade axiomas específicos a la teoría general de conjuntos, dando lugar a un marco teórico o estructura que puede ser interpretada sobre diversos modelos observables empíricamente. Y otro tanto cabría decir de la teoría de juegos, o de los propios diagramas de Venn, o de los juguetes pedagógicos que permiten, conforme se usan, el aprendizaje de los axiomas de la teoría.

4. La concepción estructural de las teorías científicas hace depender sus reconstrucciones lógicas de la técnica, propuesta por Suppes, de axiomatización informal en base al predicado conjuntista propio de cada teoría, así como de la teoría de modelos. Por consiguiente, el análisis estructural presupone y utiliza la teoría de conjuntos continuamente, como instrumento para la reconstrucción en la estructura de teorías empíricas.

La pregunta que se plantea en este trabajo, y a la cual se intentará dar una primera respuesta, es la siguiente: ¿es suficiente el aparato estructuralista para estudiar la emergencia y el desarrollo histórico de la teoría de conjuntos o, por



Esculturas y estudios de Auguste Rodin.

el contrario, dicha teoría plantea problemas específicos a la hora de ser analizada estructuralmente, que de alguna manera invalidan aspectos importantes de la metodología estructural para el análisis de las teorías científicas? Todo ello, como quedó dicho, sin alejarnos de la obra de Cantor, e incluso de las primeras etapas de su investigación.

Etapas en el descubrimiento de la teoría de conjuntos por Cantor

A partir de los documentos disponibles y de los análisis históricos llevados a cabo, cabe distinguir, ya en la primera fase de emergencia de la teoría, hasta cinco etapas:

1. Es sabido que Cantor descubrió su teoría general de conjuntos, y en particular su teoría de los transfinitos, a partir de problemas matemáticos muy concretos, planteados por Heine, en relación con la unicidad de la representación de una función mediante series trigonométricas. Dauben (1971)[9] ha estudiado perfectamente este punto, por lo cual no insistiremos más en él. Baste recordar que, en esta primera ocasión, Cantor estudia únicamente conjuntos de números, tales como los coeficientes de una serie trigonométrica o las raíces de una ecuación polinómica.

2. La introducción de los *conjuntos derivados de puntos* implica una primera generalización del planteamiento inicial, al par que una tentativa concreta y exitosa de resolver el problema de partida. Pero la resolución de dicho problema no frenó la investigación, sino todo lo contrario. Lo que en un principio había aparecido como un mero recurso técnico para solucionar un problema concreto de la teoría de funciones pasó a ser luego, tal y como ha ocurrido repetidas veces a lo largo de la historia de las matemáticas, un objeto con interés propio, e incluso el germen de toda una teoría.

La operación de derivación consiste en definir, dado un conjunto cualquiera P de puntos (y no ya sólo de números), el conjunto derivado $P^{(1)}$ que contiene todos los puntos-límite del primero, como los llamó Cantor, es decir lo que actualmente suele denominarse puntos de acumulación. La operación de derivación resulta ser matemáticamente precisa e iterable, pese a que está definida sobre entidades que hasta entonces no habían sido considerados como objetos matemáticos: los conjuntos continuos o discontinuos de puntos, que ya no son figuras geométricas ni recorridos de funciones.

Surgieron así los conjuntos de *primera especie*, tales que $p^{(n)} = \phi$ para algún *n* finito, y los conjuntos de *segunda especie*, tales que $p^{(n)} \neq \phi$ para todo número natural *n*. Con esta distinción se prefigura ya la noción de transfinito, pero ésta todavía no ha aparecido, por lo cual debe de ser distinguida esta etapa como singular.

3. Con el fin de clasificar los conjuntos de segunda especie, Cantor introdujo los *símbolos de infinitud* en 1880 y los definió en función de la operación de derivación de la manera siguiente:

$$p^{(\infty)} = \bigcap_{n=1}^{\infty} p^{(n)};$$

$$p^{(\infty+1)} = (p^{(\infty)})^{(1)},$$

y así sucesivamente.

Los conjuntos derivados precedentes quedaban englobados en estos símbolos de infinitud, así como su clasificación, con lo cual se había cumplido un nuevo paso lógico en la creación de la teoría.

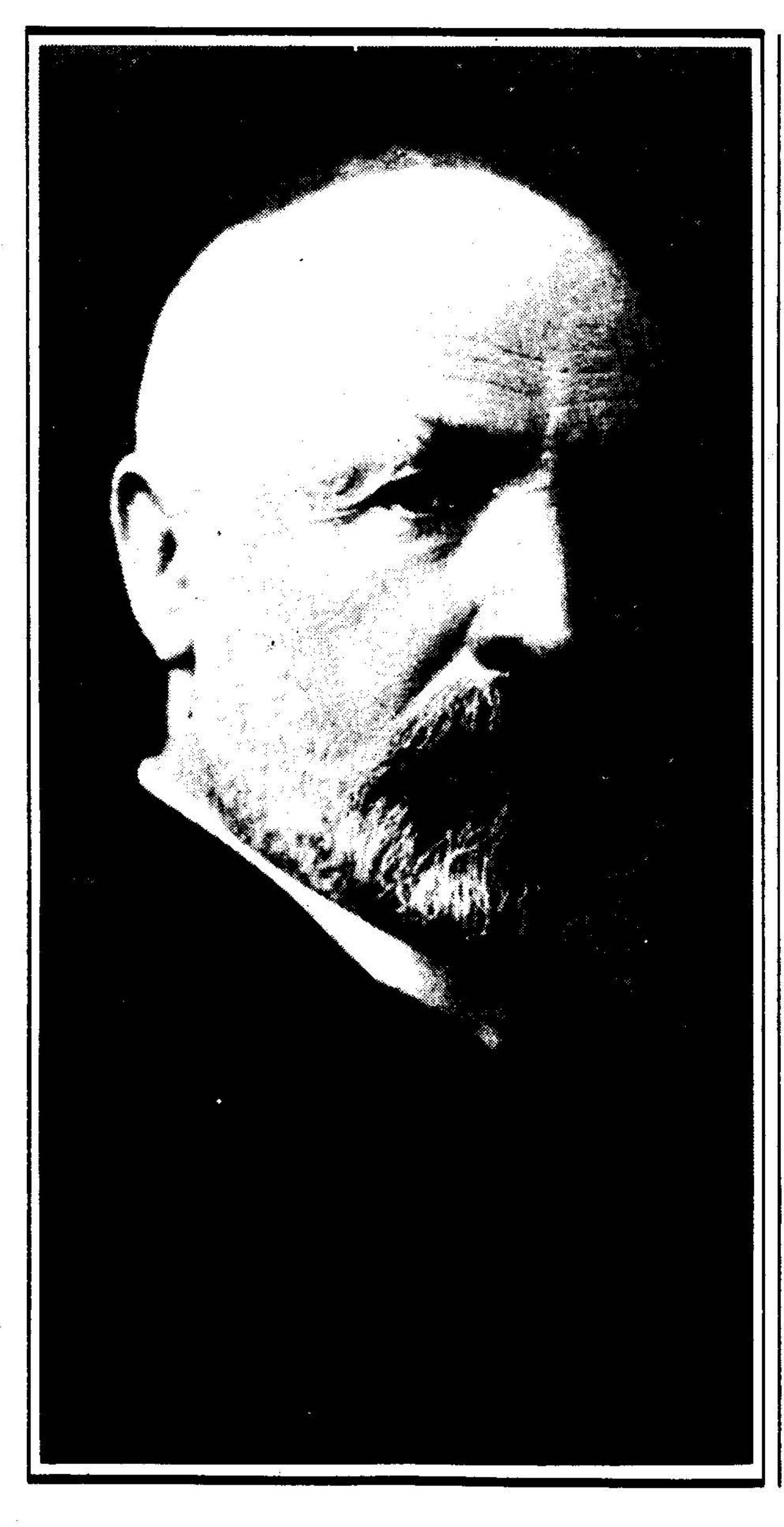
4. A continuación, tal como lo señala Hallet:

> Cantor empezó en seguida a utilizar *instintivamente* una aritmética de símbolos, combinándolos entre sí y con los números naturales.[10]

Con ello se entra en una nueva etapa, que la construcción estructural interpretaría como de construcción de un nuevo modelo parcial de la teoría. Hallet subraya que este paso implica lo que él llama *principio cantoriano de finitismo*, consistente en presuponer que los símbolos del infinito y los números naturales eran objetos operatoriamente equivalentes, al serles aplicables las mismas operaciones aritméticas, tanto a cada uno de ellos por separado como al combinarlos entre sí. Paso éste, por cierto, enormemente frecuente entre matemáticos cada vez que aparecen nuevos tipos de signos, y cuya función heurística es importantísima, tanto en la investigación cantoriana como en otros casos históricos. Por lo mismo, la denominación de principio de finitismo nos parece restrictiva, además de inadecuada. Podría ser llamado, perfectamente, principio de combinación operatoria de los signos, y habría de ser ligado a algún paradigma algebrista cuyos orígenes históricos se remontarían al siglo XVI, probablemente.

5. Tres años más tarde, en 1883, Cantor ya había asimilado esos símbolos a números, introduciendo el principio de correspondencia biunívoca entre dos conjuntos como la definición común para los números finitos y transfinitos. Surgen también los primeros descubrimientos concretos (hechos nuevos e imprevisible, en el sentido de Lakatos, al no estar planteados previamente como problemas ni tener paralelo con otros resultados y modelos matemáticos de la época) tales como la demostración de la biunivocidad entre **N** y **Q** y de la no biunivocidad entre **N** y **R**. Puede concluirse que, precisamente en esta etapa, el núcleo de la teoría de conjuntos queda ya constituido en la mente de Cantor, siendo el método diagonal el resultado más tangible y novedoso de la teoría, como lo será a continuación el teorema de Cantor, $N < 2^N$, que engendra la serie de los transfinitos.

Vamos a limitarnos a estos cinco momentos, sin proseguir con el



análisis de los momentos claves ulteriores del descubrimiento cantoriano. En 1883, en efecto, se produce un hecho significativo, que justifica este corte en el desarrollo histórico. Cantor había publicado hasta cinco artículos seguidos en los *Mathematische Annalen* bajo un mismo título: "Über unendliche, lineare Punktmannigfaltigkeiten".[11] Decide juntarlos en forma de libro, cosa muy poco frecuente entre matemáticos cuando se trata de artículos publicados en revistas científicas, y redacta una introducción especial para dicha edición,[12] que por cierto luego no fue incluida por Zermelo en su recopilación de escritos de Cantor, publicada en 1932.[13] Dicha introducción abre una nueva fase en el despliegue de la teoría de conjuntos, debido a que inaugura lo que años después será llamado *fundamentación de la matemática.* La tendencia general del escrito consiste en tratar de reducir toda la matemática a la teoría de conjuntos, con lo cual se marca la transición desde los conjuntos de números y de puntos, que eran los investigados por Cantor hasta entonces, a la teoría abstracta de conjuntos.

La observación importante a hacer es la siguiente: Cantor da este último paso, tan esencial para la estructura final de la teoría y para sus ulteriores desarrollos históricos (paradojas incluidas) guiado por problemas filosóficos, y no ya para resolver problemas matemáticos concretos. La preocupación por los fundamentos de la matemática no aparece separada de la investigación propiamente matemática, sino como una fase más de la misma. Por otra parte, los trabajos ulteriores de Cantor van a estar muy influidos por la solución dada a las cuestiones filosóficas que se planteó con toda nitidez ya en 1883. Podría pensarse, y es corriente recurrir a este subterfugio, que esta transición sin solución de continuidad de la matemática

a la filosofía de la matemática, que tiene lugar en plena emergencia de la teoría, depende de la peculiar formación y de los intereses teológicos-filosóficos de la persona concreta, Georg Cantor. Esta explicación psicologista, aunque debe ser tenida en cuenta, no resulta suficiente, debido a que en la evolución posterior de la teoría de conjuntos nos encontraremos de nuevo una y otra vez con ese mismo fenómeno de imbricación mutua entre lo que hoy en día se llama matemática y metamatemática. La fundamentación de la teoría de los conjuntos no es algo extrínseco a la teoría, sino que forma parte de su estructura interna, al menos si nos atenemos a los datos históricos, en lugar de a concepciones normativas que separan y escinden unas disciplinas de otras.

La concepción estructural y el análisis lógico de las teorías científicas

Recordemos ahora brevemente, y por lo tanto de manera forzosamente imprecisa, los rasgos principales de la concepción estructural a la hora de analizar la estructura de una teoría.

Sneed, recogiendo una propuesta de Suppes,[14] propuso un análisis no-lingüístico o informal de las teorías, a base de definir predicados conjuntistas del tipo:

x es una mecánica clásica de partículas,
x es un grupo,
x es una mecánica relativa de partículas, etc.

Aquellos objetos *x* que satisfacen dicho predicado se llaman modelos de esa teoría, distinguiéndose los modelos potenciales M_p, que abarcan a todas las entidades que podrían ser modelos de la teoría, y un subconjunto suyo, M_{pp}, de modelos parciales, para determinar los cuales se eliminan los términos teóricos de la teoría mediante el método de eliminación de Ramsey-Sneed. Asimismo se definen unas condiciones de ligadura entre unos y otros modelos parciales, para el caso de una misma entidad que pueda pertenecer a dos modelos distintos. Así surge, sin entrar en más precisiones, el núcleo de una teoría, que no es sino una estructura matemática abstracta.

Pero la estructura de una teoría con contenido empírico incluye también las aplicaciones propuestas de dicho núcleo, que se obtienen a base de añadir leyes o axiomas especiales. Cuando esas aplicaciones propuestas constituyen un subconjunto de los modelos parciales posibles, es decir cuando $I \subset M_{pp}$, se dice que la teoría es aplicada correctamente. Una aplicación incorrecta de una teoría, y por consiguiente una refutación en el sentido de Popper, no invalida el núcleo de la teoría, sino que simplemente modifica el conjunto I de aplicaciones propuestas. Una teoría puede permanecer incólume en el seno de una comunidad científica a pesar de que se conozcan anomalías para la misma. El núcleo sólo puede desaparecer de la ciencia vigente cuando se ha constituido otro núcleo teórico diferente, con sus correspondientes aplicaciones empíricas, es decir, cuando ha surgido un nuevo paradigma.



Este marco analítico, descrito muy suscintamente, ¿puede ser aplicado a las teorías matemáticas, y en concreto a la teoría de conjuntos? ¿Cabe plantearse la reconstrucción lógica de una teoría que responda al predicado:

x es una teoría (cantoriana) de conjuntos?

Fácilmente puede verse que la concepción estructural, tal y como ha sido propuesta hasta ahora, implica una cierta filosofía de la ciencia *ad hoc*, si se nos permite la expresión: y *ad hoc* para la física, pero no para las matemáticas, pese a que muchas de estas teorías sí que tienen contenido empírico en el sentido de la concepción estructural.

En primer lugar, la propia distinción entre términos teóricos y no-teóricos, y por lo tanto la utilización del método de eliminación de los términos teóricos de Ramsey-Sneed, parece completamente artificiosa en el caso de las matemáticas. Podría pensarse que el compás y la regla, en el caso de la geometría clásica, son reglas de correspondencia, pues permiten construir objetos observables que se corresponden con los términos teóricos propios de la matemática: circunferencia, recta, etc. La instanciación o *ἔκθεσις*, vista desde esta perspectiva, sería la operación que daría contenido empírico a las matemáticas. Pero se avanzaría muy poco en esa línea. Lo característico de las matemáticas, y desde luego también de la teoría de conjuntos, es que conceptualiza objetos que de por sí son ya signos:

Cantor estudió primero conjuntos de números que eran coeficientes de series trigonométricas o raíces de ecuaciones polinómicas, es decir que introdujo un nuevo sistema de signos y de nociones (el vocabulario y el lenguaje conjuntista) para designar objetos (puntos, números, etc.) que ya eran signos insertos en otras tantas teorías matemáticas. La operación continua a lo largo de la historia de las matemáticas es la reducción de unos sistemas de signos a otros: por ejemplo las figuras geométricas a ecuaciones, o los símbolos del infinito a números.



Sin embargo, la concepción estructural sí presenta algunas nociones que pueden ser útiles para analizar las teorías matemáticas, y en concreto su historia: por ejemplo la distinción entre modelos potenciales y modelos parciales. La sucesión de modelos parciales es perfectamente clara en la investigación efectiva de Cantor: primero conjuntos de coeficientes de series trigonométricas, luego conjuntos de números cualesquiera, a continuación conjuntos de puntos y conjuntos derivados de puntos, luego símbolos de infinitud, y por último conjuntos abstractos, teniendo cada uno de esos modelos parciales estructuras operacionales diversas, pero todas ellas reducibles a términos conjuntistas. En este sentido el análisis estructural podría ser, cuando menos, ilustrativo y preciso con respecto al desarrollo histórico. Desde el punto de vista de las fases de su emergencia, y prescindiendo de las diferencias entre los objetós de los que se ocupan una teoría matemática y una teoría física, los problemas que plantea la teoría de conjuntos son bastante similares a los de la mecánica newtoniana de partículas, tal y como los analiza Sneed.

Dos problemas para el análisis estructural de la teoría de conjuntos

Sin embargo, la teoría de conjuntos plantea dos dificultades importantes: una derivada de su historia inicial y otra de orden más general, o dificultad lógica.

La primera de ellas, ya mencionada, estriba en la aparición de una fase metateórica, o si se prefiere de fundamentación de la propia teoría, en plena emergencia de la misma. Si la concepción estructural ha de ser útil para la reconstrucción lógica de la historia de las teorías, y en particular de las revoluciones científicas, entonces ha de asimilar también dentro de la estructura de la teoría esta fase, cuya influencia en la investigación ulterior de Cantor fue muy grande. La definición general de conjunto que propone Cantor, ya en 1833, es la siguiente:

> Bajo la denominación de variedad (*Mannigfaltigkeit*) o de conjunto (*Menge*) entiendo en general toda multiplicidad que puede ser considerada como unidad, esto es toda colección de elementos determinados que pueden ser juntados en un todo por medio de una ley.[15]

Este salto a un modelo mucho más amplio como ámbito semántico de la noción básica, "conjunto", se produce precisamente en virtud de la reflexión teórica cantoriana. A nivel heurístico, e incluso como componente estructural, esta nueva vía de investigación tuvo una gran relevancia para el desarrollo de la teoría. Y sin embargo no parece fácil admitir, desde la concepción estructural, que se trata de una nueva aplicación propuesta, pese a que no cabe la menor duda de que para Cantor la noción de "conjunto" tiene significado empírico, por muy extenso que sea. Tomar el axioma de extensionali-



dad como la ley específica de esa aplicación propuesta, y explicar las ulteriores restricciones de ese axioma, tras la crisis de fundamentos, como otras tantas restricciones del modelo parcial propuesto, puede ser sugerente, pero conlleva una ampliación considerable de la noción de aplicación propuesta. La metateoría no es un subconjunto de los modelos potenciales parciales, sino que tiene un *status* epistemológico diferente, para la propia concepción estructural. Y sin embargo, este ejemplo histórico (que no sería el único en matemáticas) muestra que la metateoría también incide sobre la teoría, y ello en plena fase de emergencia, al orientar la investigación en un sentido o en otro.

Hay una segunda dificultad, más importante. Supuesto que la teoría de conjuntos tuviese un núcleo en el sentido estructural (por ejemplo el sistema ZF), que estuviera caracterizado por los modelos poteciales parciales que satisfaciesen el enunciado:

x es una teoría (cantoriana o ZF) de conjuntos, dicho núcleo sólo podría ser definido *sneedianamente* si se distinguiesen conjuntos M_p y M_{pp}, así como relaciones de inclusión $M_{pp} \subseteq M_p$ o de ligadura entre ambos. Lo cual equivale a decir que la teoría abstracta de conjuntos, que históricamente sólo es un momento de la investigación cantoriana, ya está propuesta en la propia definición de núcleo. Resulta así que los distintos núcleos de las teorías científicas serían, al recurrir al lenguaje conjuntista para su formulación, otros tantos modelos de la teoría abstracta de conjuntos. Pero si esto es así, ¿qué sucede con la propia teoría de conjuntos, cuya estructura histórica no ofrecía en principio singularidades especiales a la hora de analizar su desarrollo como la construcción de sucesivos modelos parciales?

La aplicación del aparato estructuralista se encuentra con esta especie de círculo vicioso, que no parece fácil de sortear. Una teoría como la de conjuntos, para ser reconstruida lógicamente, habría de presuponer sus propios conceptos básicos. Dicho de otra manera: la propia concepción estructural podría ser considerada como una de las aplicaciones propuestas de la teoría de modelos, y por consiguiente de la teoría de conjuntos, por lo cual difícilmente podría luego reconstruir lógicamente a la teoría que le sirve de base.

Todavía otras consideraciones, a título de conclusión. La reflexión metateórica ha de ser considerada, por lo menos en el caso de la teoría de conjuntos, como una componente más de dicha teoría, e incluso como una de las fases principales de la revolución que llevó aparejada. Y aunque no es el momento de hacerlo, podría mostrarse que también en el caso de otras teorías (Newton incluido), las consideraciones filosóficas desempeñan una función heurística importante y por consiguiente han de ser tenidas en cuenta como una componente más de la estructura de la teoría. La tentativa de separar la investigación propiamente matemática de la investigación filosófica, sea ésta fundamentista o no, implica dejar de lado toda una serie de datos históricos tan válidos como los distintos modelos parciales que fueron siendo los ámbitos de aplicación progresiva de la teoría cantoriana. El prurito demarcacionista difícilmente puede tener validez a la hora de estudiar la evolución de las teorías.

Dicho en forma más concreta: en los procesos de revolución científica, y particularmente en ellos, aparecen fases de desarrollo de las teorías en las que los aspectos de fundamentación filosófica (o lógica, o de cualquier otro tipo) son investigados a fondo. Ese tipo de trabajos suele luego influir, en mayor o menor medida, en el desarrollo ulterior de la teoría, pero asimismo puede tener una influencia decisiva cara a la aceptación o no aceptación de la misma por parte de autoridades científicas y público en general. Los trabajos de fundamentación y de reflexión filosófica inciden especialmente en la historia externa, además de en la interna. Unicamente en las fases de ciencia normal se produce el decaimiento de este tipo de investigaciones.

Referencias

1. Sneed, J.D. *The logical structure of mathematical physics,* Reidel Pub. Co., Dordrecht- Holanda, 1971.
2. Mehrtens, H. "T.S. Kuhn's theories and mathematics: A discussion paper on the 'new historiography' of mathematics", en *Historia Mathematica* 3, pp. 297-320, 1976.
3. Meschkowski, H. *Probleme des Unendlichen: Werk und Leben Georg Cantors,* Vieweg, Braunschweig, 1967.
4. Hawkins, T. *Lebesgue's theory of integration,* Chelsea, Nueva York, 1970.
5. Dauben, J. *Georg Cantor: his mathematics and philosophy of the infinite,* Harvard Univ. Press, Boston Ma., 1979.
6. Moore, G.H. *Zermelo's axiom of choice: its origin, development and influence.* Springer, Berlín, 1982.
7. Grattan-Guinness. *From the calculus to set theory,* Duckworth, Londres, 1980.
8. Hallet, M. *Cantorian set theory and the limitation of size,* Clarendon Press, Oxford, 1984.
9. Dauben, J. "The trigonometric background to Cantor's theory of sets", en *Archive for the History of Exact Ideas* 7, pp. 181-216, 1971.
10. Hallet, *op, cit.*, p. 5.
11. *Ibid.*, pp. 32-40.
12. G. Cantor, *Mathematische Annalen* 15 (1879), 1-7; 17 (1880), 355-8; 20 (1882), 113-21; 21 (1883), 51-58; 21 (1883), 545-586.
13. G. Cantor, *Gesammelte Abhandlungen mathematischen und philosophischen Inhalt* (ed. E. Zermelo), Springer, Berlín, 1932 (reed. 1980).
14. Suppes, P. *Introduction to logic,* Nueva York, Van Nostrand, 1957.
15. G. Cantor, "Grundlagen einer allgemeinen Mannigfaltigkeits lehre", en *Gesammelte Abhandlungen, op. cit.*, p. 244, nota 1.

ALGUNOS MANUSCRITOS INEDITOS DE LEIBNIZ SOBRE JUEGOS*

Mary Sol de Mora Charles**



Detalle del Jardín de las delicias. Bosch. S. XV.

elementos núm. 7, año 2, vol. 1. Impreso en México

El nacimiento y desarrollo de la teoría de la probabilidad es un caso especial por diversas y poderosas razones, tanto en el ámbito de las ciencias matemáticas como en el ámbito de la filosofía. El concepto de probabilidad tiene una doble vertiente epistemológica y aleatoria, pero ambas aparecen sugeridas por un fenómeno muy antiguo: los juegos de azar. La idea de azar cristaliza en ellos, y especialmente en los juegos de dados. Si tal cosa ha sucedido por azar, es un azar feliz para los matemáticos, pues el modelo del dado es muy fácil de transferir a un modelo matemático perfecto. Las situaciones o "sucesos" posibles en los dados son ejemplos claros y sencillos en sus casos elementales, y pueden complicarse a voluntad con el simple expediente de aumentar las variables: el número de dados, el número de tiradas, el número de jugadores, etc. Es más fácil imaginar un dado perfecto, es decir, no trucado, que una situación equivalente en cualquier otro juego de azar: cartas, monedas, etc.

Esta ventaja tiene también sus servidumbres. El método de investigación viene determinado por el material que se emplea y podríamos señalar los diversos errores que se repiten una y otra vez y

* Artículo basado en la ponencia presentada durante el I Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias, celebrado en La Habana del 21 al 25 de Julio de 1985.

** Universidad del País Vasco, Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Decanato. Apartado 1249. San Sebastián-Donostia.

que constituyen un gran lastre para el desarrollo de la teoría en los primeros años, como es el caso de la dificultad para detectar los sucesos dependientes y los sucesos compatibles, casos ambos poco evidentes en el modelo del dado.

¿Pero dónde comienzan realmente los cálculos acerca del azar, y dónde conectan y se funden con el concepto filosófico de azar? Si queremos rastrear el origen de la teoría matemática de la probabilidad, encontraremos grandes, si no insuperables, dificultades. Parece claro que el tránsito a lo científico se produce en los juegos de azar, pero incluso en este punto aparece la dificultad. El origen de los juegos de azar es imposible de determinar.

Los astrágalos o "huesos de taba" aparecen en las excavaciones arqueológicas con mucha mayor frecuencia que cualquier otro hueso del cuerpo de los animales, pero no es evidente que de ello podamos deducir que se utilizaran para juegos de los llamados "de azar". Hay otras muchas razones para su pervivencia, por ejemplo, su tamaño y forma los hacen menos frágiles que los huesos largos. Las evidencias más antiguas de utilización de las tabas para juegos de azar aparecen entre los griegos y también en Egipto en tiempos de la primera dinastía. Alrededor de 1800 años antes de JC se jugaba al precioso juego denominado "perros y chacales", que consta de un tablero en el que se colocan unos punzones con cabezas de perro o de chacal según los resultados del lanzamiento de unas tabas.



Herodoto escribe en el año 500 a. de JC acerca del modo en que resolvieron en la antigua Libia una época de hambre que tuvo lugar alrededor del 1500 a. de JC: jugaban durante todo un día sin parar, de manera que no pudieran sentir el hambre y, al día siguiente, comían y no jugaban, y de este modo pasaron 18 años. Durante la guerra de Troya fueron inventados diversos juegos para sostener la moral de los soldados y, en general, aparece en muchos autores la alusión a esta utilización tolerada de los juegos en situaciones críticas o dolorosas, con el fin de distraer las preocupaciones.

En cualquier caso, los griegos del primer milenio a. de JC jugaban a las tabas, tanto los niños como los mayores. Posteriormente también los romanos les imitaron en esto.

El astrágalo tiene sólo cuatro caras, que son todas ellas desiguales. El valor que se les asignaba no era, sin embargo, proporcional a su facilidad o probabilidad. La peor tirada, una de las caras pequeñas, era el 1, al que llamaban el perro. Pero la cara opuesta valía 6 siendo casi igualmente difícil. La mejor tirada se llamaba Venus, y se realizaba con cuatro tabas, cuando todas las caras salían distintas. Posteriormente los astrágalos se fabricaron, ya en hueso ya en piedra, con símbolos grabados en sus caras.

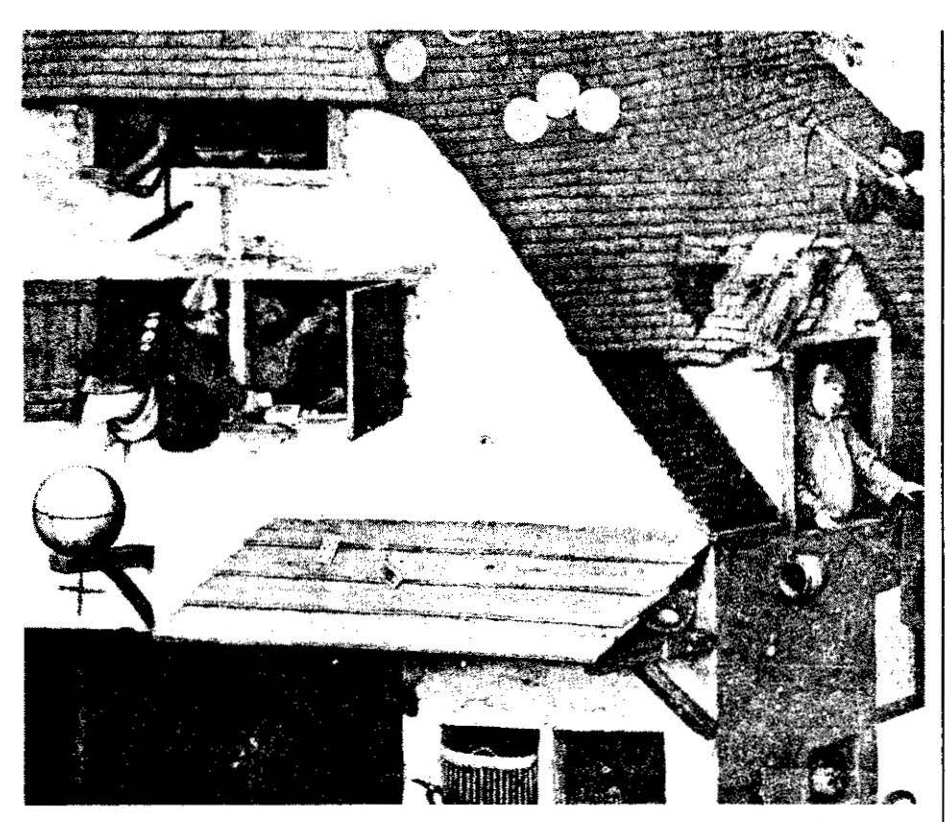
El dado cúbico más antiguo que se ha encontrado data de 3000 años antes de JC, es de cerámica y se encontró en Irak. La ordenación de los puntos sobre las caras varía bastante según los lugares y las épocas, pero las ordenaciones solían ser fijas con el fin de ser rápidamente comprobables y así evitar las trampas. También se han encontrado dados trucados, en los que una trampilla permitía, al correrse, introducir una bolita de plomo o material semejante que daba al dado una tendencia o sesgo determinado.

Al construir dados a imagen del cubo como figura geométrica regular, parece extraño que los griegos o algún otro pueblo desarrollado no viera ya la equiprobabilidad teórica de todas las caras del mismo. F. N. David[1] explica este enigma por dos razones: la imperfección de los dados en su ejecución material y su uso en ceremonias religiosas. La adivinación mediante dados, astrágalos y otros



Ilustraciones de Brueguel y El Bosco, siglos XV y XVI.

1. David, Florence N. *Games, gods and gambling*, Griffin, London, 1962.



materiales estaba muy extendida en la antigüedad. En cambio Kacking,[2] afirma que los dados encontrados en las excavaciones, a pesar de su aspecto irregular, están asombrosamente equilibrados y presentan una gran regularidad en sus resultados.

El juego, por otra parte, alcanzó en Roma tal importancia que se llegó a prohibir en determinadas ocasiones y épocas del año. En las primeras épocas del cristianismo el juego era también reprobado y censurado, aunque se encuentran sorprendentes excepciones de juegos de azar "piadosos". De hecho, la prohibición no iba contra los juegos de azar en sí mismos, sino contra los vicios y calamidades que les acompañaban. Así, en tiempos de Luis XI de Francia, en 1255, se prohiben "los juegos de dados y el ajedrez, la fornicación y la frecuentación de tabernas", así como la fabricación de dados, todo en el mismo lote.

La palabra *lot*, precisamente, que significa lote y también suerte, fortuna, es de origen germánico y, en los pueblos primitivos era usual el empleo del azar para sortear lotes. De esta palabra surge posteriormente la lotería. La adivinación y los sortilegios fueron considerados paganos y prohibidos por la Iglesia Católica, aunque también ella participaba en cierto modo de estos juegos de azar. Antiguamente, las vacantes importantes en la jerarquía sacerdotal se adjudicaban por sorteo y se suponía que la elección divina se manifestaba de ese modo. Hay muchos otros casos en que el azar era asimilado a la voluntad de los dioses que mostraban así sus designios, o bien una verdad oculta.

En esta etapa, el problema de equiprobabilidad de cada una de las posibilidades obviamente carecía de importancia, pues el dios que mostraba su voluntad por intermedio del azar no iba a verse estorbado por ningún dado cargado. No obstante, desde muy antiguo los hombres aprendieron a cargar los dados, lo cual hace pensar al menos en una oscura intuición no formulada de la idea de equiprobabilidad. Pero desde luego todavía no se intenta en ningún momento calcular el valor de esa probabilidad. A los griegos se debe principalmente el desarrollo de la lógica científica y a ellos se les ocurrió la idea de enumerar las posibilidades o causas. David cita la anécdota del perro de caza utilizada por Crisipo: "un perro que persigue a su presa llega a un lugar en que el camino se divide en tres. Trata de encontrar el rastro en dos de ellos y luego continúa por el tercero sin echarlo a suertes. Así, si hay un número fijo de posibilidades y se descartan todas menos una, la que queda debe ser la buena".

Según Leibniz, en una carta a Montmort,[3] un obispo de Cambray llamado Wibold, inventó hacia 960, un juego de dados piadoso, que Leibniz llama un juego "de obispo" y que consistía en lo siguiente: se lanzaban tres dados y cada uno de los resultados de sumar sus puntos (56) se asignaba a una de las 56 virtudes enumeradas por Wibold, de modo que quien había lanzado el dado debía concentrarse en esa virtud por un periodo determinado de tiempo. Se observa que los casos posibles considerados en este juego eran las particiones, y así será durante mucho tiempo antes de que se consideren todos los casos realmente posibles, que serían las variaciones con repetición. (En este caso, $6^3 = 216$). En el caso citado, el orden de caída de los dados no se tiene en cuenta y así parece que sucedía también en la tradición pagana.

No obstante, ese es el primer tratado conocido en el que se enumeran los casos posibles. El número de particiones posibles al lanzar tres dados se enumera también en versos latinos en el poema *De*

2. Hacking, Ian: *The emergence of probability*, Cambridge U. Press, 1975.

3. Leibniz, G. W. *Die philosophischen schriften*, vol. 2, Olms, ed. Gerhardt, 1965. Carta del 17 de enero 1716.

Vetula (c. 1200), de autor no identificado.

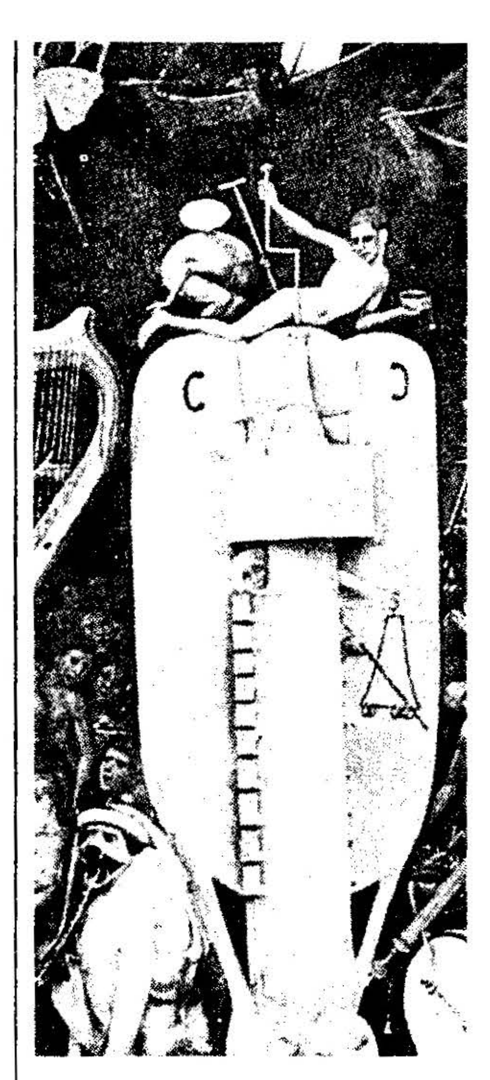
Parece claro que desde la Antigüedad hasta el Renacimiento se juega sin interrupción a juegos de azar y que durante la Edad Media todas las clases sociales jugaban. En cuanto a los tipos de juegos, parece que los romanos utilizaban 4 astrágalos o tabas (*tali*) y tres dados (*tesserae*). Posteriormente surgen gran cantidad de variedades de juegos de dados y cartas: el *quinquenove*, el azar, el primero, el hombre, el juego de los tres dados, etc. Parece ser que las cartas se inventaron hacia el año 1350, pero al principio resultaban muy caras y eran sólo utilizadas por los personajes importantes. Sin embargo poco a poco los juegos de cartas fueron tomando más importancia y desplazando a los dados, tal vez porque en aquéllos el puro azar iba acompañado de la capacidad para planear una estrategia determinada, y porque las reglas de juego eran más complicadas que en los dados. En cuanto a dichas reglas, los manuales de la época las dan generalmente por sabidas, como veremos, con la consecuencia de que solamente se han conservado aquéllas que pertenecen a los juegos que han continuado jugándose hasta la actualidad.



Más tarde, con la invención de la imprenta, comienzan a aparecer tratados sobre diferentes juegos en boga, aunque todavía en un estilo descriptivo y sin tratar de calcular ninguno de los resultados posibles. Ejemplos de estos tratados son el de Leónico (1456-1531), *Sannutus, sive de ludo talario*, o el de Calcagnini (1479-1541), *De talorum ac calculorum ludis exmore veterum*, sin contar con la difusión de obras anteriores como la de Alfonso X el Sabio, en pleno siglo XIII, *Libros de acedrex, dados e tablas*. Pero hasta Cardano no encontramos un tratado que intente calcular las diferentes posibilidades del lanzamiento de varios dados.

Hasta aquí hemos recorrido rápidamente el camino seguido por el concepto de azar hasta llegar a los juegos de cartas, y el tema central de esta comunicación es la consideración de los juegos de cartas que han sido estudiados desde el punto de vista de la teoría de la probabilidad con el fin de calcular sus diferentes posibilidades y las apuestas convenientes en cada caso y, en particular, algunos de esos juegos cuyas reglas son recogidas por Leibniz en algunos manuscritos inéditos. El estudio de estos juegos tuvo una importante influencia en el desarrollo posterior de la teoría de la probabilidad y de sus ramificaciones en la estadística, la demografía y muchas otras ciencias, por ello quizá no sea ocioso hacer aquí un rápido resumen de ese desarrollo para evidenciar la importancia relativa de los mencionados juegos de azar.

El cálculo de probabilidades, tal como lo conocemos ahora, tarda bastante tiempo en emerger. Las razones que se ofrecen como explicación de esta circunstancia son muy variadas. 1) La falta de un



álgebra combinatoria, por ejemplo, aunque esta razón parece discutible, pues esa carencia no resultó un obstáculo para Galileo o Cardano. 2) Otra de las teorías que se sugieren para explicar la falta de desarrollo de los conceptos de aleatoriedad y de estabilidad de los grandes números es que los mismos filósofos, sobre todo Platón y Aristóteles, esperaban encontrar regularidad, orden y repetición del movimiento en los cuerpos celestes, pero no esperaban tal cosa en los sucesos que les rodeaban y por lo tanto no los buscaban. La tesis de David es que el paso no se dio porque el desarrollo filosófico de la época engendró un hábito de la mente que hizo imposible la construcción de hipótesis teóricas a través de los datos empíricos.

Hay otras muchas teorías para explicar por qué las ideas de frecuencia, aleatoriedad y probabilidad sólo aparecen recientemente. Algunas de ellas son enumeradas por Hacking: 3) La obsesión por el determinismo había hecho imposible cualquier pensamiento de aleatoriedad; pero en Europa se comenzaron a comprender los conceptos de aleatoriedad, azar, probabilidad, etc., precisamente en el momento en que las opiniones teológicas sobre la presciencia divina se veían reforzadas por el éxito de los modelos mecanicistas, es decir, en el momento menos favorable si esa interpretación fuese la correcta. 4) También hay quien sostiene que predecir el futuro estaría prohibido por razones religiosas y el papel de los dados en la adivinación haría impío cualquier intento de calcular lo que los dioses iban a decir. No obstante, había muchos impíos que jugaban a los dados sin cesar y esto hubiera sido más bien un incentivo para encontrar algunas reglas o leyes aritméticas elementales acerca de los dados. Sin contar con que los sacerdotes y adivinos solían hacer trampas en sus predicciones y les hubiera venido muy bien poder calcular con precisión y exactitud esos efectos.

5) Otra teoría señala que, para concebir las leyes de la probabilidad, serían necesarios algunos ejemplos empíricos fáciles, dados perfectos, por ejemplo: los primeros experimentos emplean siempre lo que Neyman[4] llama un "conjunto fundamental de probabilidad", en el que todos los casos serían equiprobables. Por tanto, anteriormente a esto, no se habrían encontrado ejemplos empíricos de equiprobabilidad, sólo las tabas y dados imperfectos; no obstante, los dados de marfil y otros materiales muy compactos y uniformes son muy antiguos y como

4. Neyman, Jerzy: *First course on probability and statistics*, New York, 1950.



ya hemos dicho, no parece que estén muy desequilibrados.

6) La teoría económica, defendida por L. Maistrov,[5] nos diría que la ciencia se desarrolla para responder a necesidades económicas. Se podría afirmar que la ciencia se desarrolla en respuesta a los problemas que ella misma crea o bien en respuesta a problemas que le son impuestos desde el exterior. Hasta muy recientemente lo que ha sucedido ha sido que el estímulo provenía de otras disciplinas. En el siglo XVII, los seguros y las anualidades que estaban en uso obligaron a calcular las esperanzas de vida, por ejemplo. En el siglo XVIII fue necesaria una teoría de la medida, sobre todo en astronomía. A finales del siglo XIX el análisis de los datos biológicos exigió la creación de la biométrica o psicometría. La mecánica estadística requiere una profundización en el análisis del concepto de probabilidad. Las necesidades de la agricultura y los experimentos de la medicina han desarrollado la estadística en el siglo XX.

5. Maistrov, L. E. *Probability theory a historical sketch*, Academic Press, New York, 1964, 1974.

Todas estas necesidades podrían analizarse como económicas, pero sigue sin quedar explicado el origen mismo de la probabilidad. Como dice Kacking, es cierto que los primeros cálculos de probabilidades fueron en Europa los de Paccioli, en 1494; pero estas obras teóricas no eran capaces de resolver los problemas que planteaban. Nadie sabía resolver esos problemas antes de 1660 y, a partir de ese momento, todo el mundo sabía.

7) La génesis económica de la probabilidad sería una explicación externa. También podría darse una explicación interna: las matemáticas no habrían dispuesto de una riqueza suficiente de ideas o de medios para generar el cálculo de probabilidades. Desde luego es evidente que faltaba un simbolismo adecuado que hiciera fácil la adición o cualquier operación aritmética, de hecho la probabilidad matemática parece tener un origen árabe, y los primeros probabilistas eran italianos.

En cualquier caso, lo interesante no es tanto saber cómo y por qué llegaron los hombres a estudiar objetos como el concepto de probabilidad, sino la manera

en que nació el concepto mismo. Las condiciones previas para la probabilidad deben haber consistido en algo que no es probabilidad pero que sufrió una transformación y se convirtió en probabilidad. El doble carácter aleatorio y epistemológico que caracteriza a la probabilidad tal como aparece en la correspondencia entre Pascal y Fermat por primera vez, es una de las claves para su nacimiento. La confluencia en el concepto de probabilidad de esos dos aspectos se produce precisamente en esa época. Todhunter[6] escribe en 1865 su libro sobre la historia de la teoría matemática de la probabilidad "desde el tiempo de Pascal hasta el de Laplace", y en él dedica sólo seis páginas de las 618 de la obra a los predecesores de Pascal. Esto, desde el punto de vista de la historia de la teoría de la probabilidad, es lo correcto, pues, como acabamos de comentar, antes de Pascal no se resolvían aún los problemas fundamentales de la teoría de la probabilidad y después de Laplace, la teoría estaba ya construida.

En el siglo XVI aparecen algunos tratados comerciales en los que se intenta una "aritmética" de los fenómenos aleatorios, aunque los casos de aleatoriedad son los menos en esos ámbitos y sus autores no tenían noción de que trataban con un nuevo tema. Les interesaba sobre todo el reparto de las ganancias y sus estudios son considerados como el comienzo del álgebra en Europa.

Como ya hemos señalado, las afirmaciones interesantes acerca del tema de la probabilidad aparecieron mucho antes que los cálculos mismos. Los cálculos aproximados y los primeros intentos de generalización aparecen ya en autores como Tartaglia, Peverona, Cardano y Galileo, todos ellos previos a la matematización que realizarán Pascal y Fermat, ya en el siglo XVII. En estos inicios del cálculo de probabilidades se encuentran dos tipos diferentes de problemas: los problemas de combinatoria y los de juegos de azar repetidos, donde una de las dificultades principales era la de la división o reparto de las ganancias en un juego interrumpido antes de su conclusión.



Los problemas de combinatoria, por su parte, permanecen ligados a los signos y a la magia hasta que el signo mismo se libera de ese entorno en el siglo XVII. Raimundo Lulio es considerado como el creador de la teoría de combinaciones. Esperaba representar todos los elementos del mundo por sus signos o símbolos verdaderos y después, por combinación de esos signos, producir signos verdaderos para todos los posibles componentes del universo. Este mismo proyecto es el que anima a Leibniz al escribir el *Ars combinatoria*, que es probablemente uno de los proyectos de formalización más ambiciosos e interesantes que se han formulado. La enumeración de las combinaciones es sin embargo muy antigua, la primera que se conoce es la de los resultados posibles de tres dados, descrita por Kendall,[7] y es un método para predecir el futuro (el poema manuscrito latino *De Vetula*, mencionado antes, probablemente del siglo XII). Hasta Pascal no se aplica la combinatoria a los problemas de la división de las apuestas.

Los problemas de la división (o de los "partis") son también muy antiguos. En el siglo XV, en Italia, encontramos intentos de aplicar el álgebra recién aprendida a los problemas de juegos de azar. Dos o más jugadores compiten por un premio que se logrará cuando uno de ellos haya ganado n partidas. Si el juego se interrumpe de mutuo acuerdo antes de ese momento, ¿cómo repartir o "dividir" el premio? Luca Paccioli se plantea este mismo problema con juegos de pelota. La obra por la que es famoso, desde el punto de vista de la probabilidad, es la *Summa di arithmetica, geometria e proporcionalita*, impresa en Venecia en 1494. En esta obra, Paccioli hace una refundición del *Liber abaci* de Leonardo el Pisano, por lo tanto no se trata de una obra muy original, ni tampoco se puede decir que Paccioli fuera un gran matemático, no obstante su mérito estriba en que recopila los conocimientos matemáticos de la época. Uno de sus ejemplos es el siguiente:

> A y B están jugando un juego honesto de pelota. Se han puesto de acuerdo en continuar hasta que uno de ellos haya ganado seis juegos. El juego se detiene no obstante cuando A ha ganado cinco juegos y B tres. ¿Cómo deben dividirse las apuestas?

Nosotros responderíamos que 7 a 1, pero Paccioli considera que 5 a 3, y durante bastante tiempo

6. Todhunter, Sir Isaac: *A history of the mathematical theory of probability*, 1865 London.

7. Kendall, M. G. "The beginnings of a probability calculus", *Biometrika*, 43, 1956, pp. 1-14.

nadie fue capaz de encontrar la solución correcta. No obstante este era el problema teórico fundamental a resolver y Paccioli lo formula con toda claridad.

Cardano, en su *Liber de ludo aleae*,[8] nos explica algunos juegos de cartas, aunque no intenta hacer ningún cálculo de las posibilidades de los diferentes lances o jugadores. Le interesa sobre todo señalar la diferencia entre los juegos de puro azar y aquéllos en los que intervienen otros factores. Así, para él los juegos de cartas se diferencian de los de dados porque estos últimos se juegan abiertamente y en cambio las cartas suelen estar tapadas. También, en el capítulo 24, dice que el juego de dados depende más del juicio sobre los sucesos futuros, sobre todo del éxito que pueda tener nuestro oponente, pero también del éxito propio, mientras que en las cartas se requiere solamente juicio sobre lo que uno posee en ese momento y lo que posee el oponente. Las cartas no dependen sólo del azar, sino también de la prudencia y buen hacer del jugador.

Entre los juegos que describe Cardano se encuentra el llamado *primero*, que viene a ser un precedente del póquer. Se jugaba con lo que ahora llamamos baraja francesa y con 52 cartas y se hacían diversas jugadas cuyos nombres eran latinos: *numerus* (parejas o tríos), *primero* (color), *supremus* (una especie de escalera de color) y *chorus* (un póquer o cuatro cartas iguales). Enumera también Cardano otros juegos de cartas sin explicar sus reglas, como el *taro, ulcus, triumphus*, etc. y señala la *bassette* como el juego de los hombres desesperados (un juego contra la banca).

Uno de los objetivos de Cardano en su libro es advertir a los jugadores aficionados de las trampas que se les pueden hacer en los juegos, así señala en el caso de las cartas, la posibilidad de utilizar cartas marcadas o colocadas previamente en un orden determinado. Las cartas se marcaban en los bordes con ciertas irregularidades o en su superficie, con un punzón o navaja. Otra manera de hacer trampas, dice, son las señas entre los jugadores o entre éstos y otras personas presentes, que llegaban a ser muy sofisticadas. Cardano recomienda que se baraje y que se revisen los bordes y superficie de las cartas. Menciona además que, en España, los prestidigitadores profesionales tenían prohibido jugar a las cartas bajo pena de muerte.

Otro de sus consejos consiste en la conveniencia de recordar aquellas cartas que en el transcurso del juego han resultado destapadas, con el fin de calcular las que restan. En algunos juegos, dice, esto es esencial, como en el *trappola* veneciano. Pero además de memoria, hay que tener habilidad y buen juicio para aprovechar las ventajas y evitar las estratagemas de los adversarios. Estos consejos pueden parecernos obvios, pero en



8. Cardano, Girolamo: *De ludo alea*, 1663 in *Opera omnia*, Amsterdam, Lyon, 10 vol. I.



los primeros tiempos del juego de naipes no eran ciertamente ociosos.

Huygens en cambio, en su libro (1679) *De ratiociniis in ludo alea*,[9] hace ya cálculos de las ventajas de una determinada posición o jugada, así, en el "Apéndice VIII", pp. 164-168, estima las ventajas de la banca (el *banquier ou tailleur*) en el juego de la *bassette*, asimismo calcula las esperanzas matemáticas de los jugadores en el *piquet* ("Apéndice IX", pp. 169-179) con gran detenimiento.

Jacques Bernoulli, en su *Ars conjectandi* (1713, obra póstuma)[10] estudia también varios casos de juegos de cartas en general (problema III de la 1a. parte), o en algunos juegos en particular como el *trijaques* (triquitraque) o *brelan* (problema XVIII de la 3a. parte), el *capiludium* o *bockspiel* (problema XX) o la *bassette* (problema XXI), pero no explica las reglas de ninguno de ellos. Su estudio es eminentemente técnico o matemático.

Pierre Rémond de Montmort, en su *Essai d'analyse sur les jeux de hasard*,[11] de 1708, hace ya un compromiso entre el estudio técnico y la información práctica. En los notables prólogos a su primera y segunda edición (1713) hace un comentario de la situación de los conocimientos sobre probabilidades con que se podía contar en la época. Así, se conocía en parte la correspondencia entre Pascal y Fermat, gracias a la publicación de las obras póstumas de este último, también era conocida la obra de Halley sobre las tablas de mortalidad, la teología matemática de Craig, etcétera.

En cuanto a los juegos de cartas que trata, encontramos la ventaja del banquero en el juego del faraón, el *lansquenet*, el *treize*, la *bassette*, el *her*, la *ferme*, el *tas*, el juego bautizado por él como el de la *esperanza* y también trata sucintamente el juego del *hombre*, el *piquet*, el *brelan*, el *imperial*. Afirma Montmort que es particularmente en los juegos de azar donde aparece la debilidad del espíritu humano y su inclinación por la superstición. Nada es más común que ver a los jugadores atribuir su mala suerte a las personas que les rodean y a otras circunstancias igualmente indiferentes a las vicisitudes del juego. Algunos no quieren jugar más que con las cartas con que una vez ganaron, pensando que dan buena suerte, otros por el contrario, prefieren las cartas perdedoras, pensando que por haber perdido varias veces con ellas, las probabilidades de ganar en el futuro han aumentado. Algunos prefieren ciertos lugares o determinados días para jugar, etc. A la vista de estas circunstancias, dice Montmort:

> He creído que sería útil, no sólo para los jugadores, sino para los hombres en general, saber que el azar tiene reglas que pueden conocerse y que, por no conocer esas reglas, todos los días cometen faltas cuyas consecuencias deben serles imputadas a ellos con más razón que al destino al que acusan... Todo el mundo sabe que a falta de evidencia debemos buscar la verosimilitud para acercarnos a la verdad, pero no saben suficientemente que hay verosimilitudes más grandes o más pequeñas hasta el infinito y que el espíritu, para ser buen juez, debe distinguir todos sus grados.

Comprueba además Montmort que los inventores de los diversos juegos de cartas no pretendían hacerlos enteramente equitativos o justos para los diversos participantes o, lo que parece más verosímil, no conocían suficientemente la naturaleza de esos juegos, su funcionamiento desde el punto de vis-

9. Huygens, Christian: *De ratiociniis in ludo alea*, 1657, (en *Oeuvres completes*, Nijhoff, La Haya, vol. XIV, pp. 1-179. 1888-1950) ed. F. van Schooten, Amsterdam.

10. Bernoulli, Jacques: *Ars conjectandi*, Basel, 1713. *Werke*, t. III, pp. 107-286.

11. Montmort, Pierre Rémond de: *Essai d'analyse sur les jeux de hasard*, 1708 Paris, Quillam, 2a. ed. 1713. *El hombre*: pp. 157-161 y 165-168.

ta matemático, para distinguir correctamente los azares o la suerte de los jugadores. En la mayoría de ellos las condiciones son tan desiguales para los participantes que se podría decir que no se puede ganar con justicia ni perder sin ser engañado o estafado, es decir, con injusticia.

Montmort sostiene la teoría de que nada depende en realidad del azar, el mundo está regido por leyes dictadas por Dios pero los hombres no conocen esas leyes y a sus resultados les llaman azar. "La vida del hombre es un juego en el que reina el azar", dice Montmort. De ahí no se deduce que el azar deba aceptarse como algo inevitable e inmanejable, todo lo contrario.

Hay un paralelismo entre los problemas que se plantean en los juegos de azar y las cuestiones económicas, políticas y morales. Para Montmort estas últimas se podrían resolver también con las leyes de la teoría de la probabilidad si se observaran estas dos reglas: 1o. limitar la cuestión que se propone a un pequeño número de supuestos establecidos sobre hechos ciertos, 2o. hacer abstracción de todas las circunstancias en las que la libertad del hombre podría interferir y complicar los datos del problema.

Por su parte Leibniz conoce este libro de Montmort en 1714, pues se lo envía el propio autor, y Leibniz le responde en una carta de 17 de enero de 1716:

> Su excelente trabajo me ha deleitado en extremo. Los hombres no son nunca más ingeniosos que en la invención de juegos, el espíritu se encuentra en ellos a sus anchas. Por eso he deseado que un hombre tan hábil como usted lo es, señor, se dedicara a examinarlos. Ha colmado usted mis expectativas. Hubiera deseado que las reglas de los juegos estuvieran un poco mejor descritas y los términos explicados en favor de los extranjeros y de la posteridad. Desearía que concluyese usted todos los juegos que dependen de los números. . .

Es por esta razón que el propio Leibniz toma la iniciativa de poner por escrito las reglas de algunos juegos, como el de las *productions*, el *solitario*, el *quinquenove*, la *bassette* o el del *hombre*, cuya transcripción damos aquí, al final de este trabajo. La carta de Leibniz continúa:

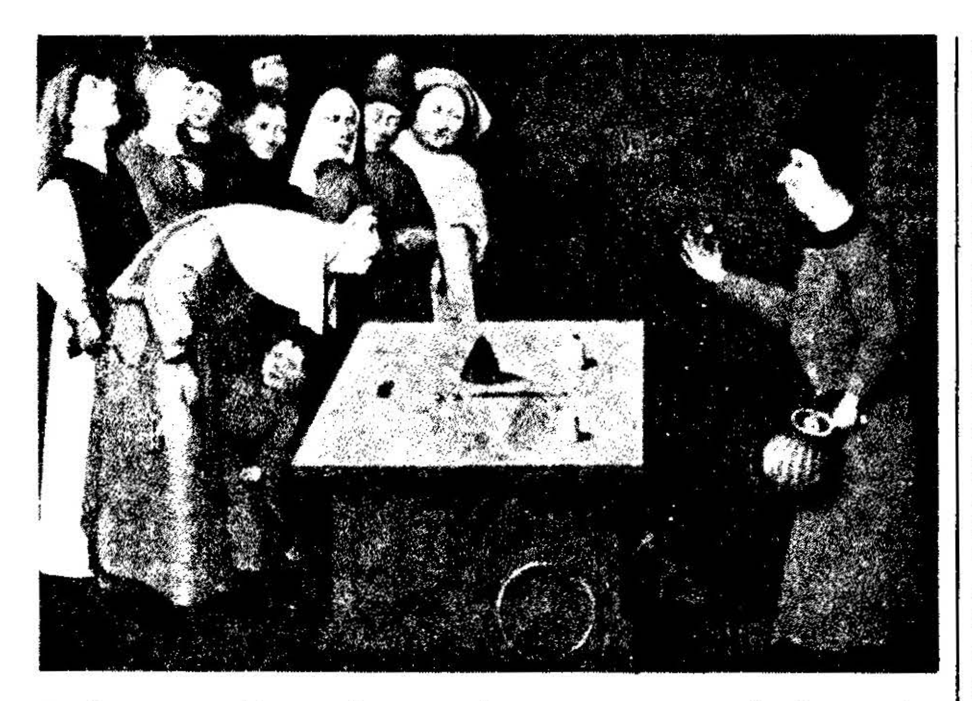
> Después de los juegos que dependen únicamente de los números, vienen en los que entra también la situación, como el *trictrac*, las *damas* y sobre todo el *ajedrez*. El juego llamado *solitario* me gusta bastante. Yo lo tomo de manera inversa, es decir, en lugar de deshacer un compuesto de piezas según la regla del juego, que es saltar a un lugar vacío y eliminar la pieza sobre la que se salta, he creído que sería más bello restablecer lo que había sido deshecho, llenando el vacío sobre el cual se salta, y por este medio podría proponerse el formar tal o cual figura determinada si es formable, como debe serlo si puede deformarse. ¿Pero para qué?, se me preguntará. Yo respondo: para perfeccionar el arte de inventar. Pues sería necesario un método para concluir todo lo que puede ser hallado mediante la razón. Tras los juegos en que no entra más que el número y la situación, vienen los juegos en los que entra el movimiento, como el juego del *billar* y en el *jeu de paume*. . . En fin sería de desear que se contara con un curso entero de juegos tratados matemáticamente.





No entraremos aquí en el detalle de los cálculos de las esperanzas matemáticas que tienen de ganar los contrincantes en los diversos juegos, pues esto alargaría innecesariamente este texto que trata simplemente de dar a conocer el tema y su alcance científico a pesar de su apariencia frívola.

Todo jugador actual se ocupa de saber con exactitud cuáles son sus posibilidades en cada momen-



to de una partida y existen muchos textos que estudian las técnicas de los juegos más complicados, como el poquer, el ajedrez, el bridge o el go. Pero ya nadie se ocupa de las probabilidades matemáticas de ganar en esta o aquella posición, pues basta con conocer de un modo aproximado si una estrategia es o no ventajosa. No obstante, se ha desarrollado modernamente toda una teoría de juegos, que intenta dilucidar si todos los juegos poseen una "estrategia óptima", aplicada la cual se gana infaliblemente, o se pierde, según la ventaja de partida del jugador. Muchos juegos la poseen y en muchos casos está estudiada; en los más mecánicos, como las tres en raya, es sencillo. El caso del ajedrez, entre otros, parece más dudoso.

En cualquier caso la aplicación de esta teoría en informática es de gran importancia y utilidad.

El juego del hombre ha sido el elegido por nosotros por ser casi el único que se ha conservado como juego español y los nombres de sus jugadas y de sus triunfos parecen ser un precedente de lo que ahora llamamos "baraja española", aunque en la época de Leibniz se jugaba con la baraja francesa, cuyos cuatro triunfos o palos son como es sabido corazón (que se transformaría en oros), pique (que se transforma en espadas), trébol (que se convierte en bastos) y *carreau* (que por razones más oscuras se convertirá en copas).

Efectivamente, en el juego del hombre, tal como ha llegado hasta nosotros (llamado también solo) y según las reglas que aparecen en el libro *Official rules of card games,* [12] de 1963, se juega con baraja francesa y con 32 cartas: 7, 8, 9, 10. J, Q, K y As de cada palo. Se juega entre 4 jugadores y se reparten todas las cartas, mientras que en la versión de Leibniz podía jugarse entre 3, 4 ó 5 jugadores, aunque lo más frecuente eran 3. Además en lugar de eliminar 2, 3, 4, 5 y 6 se eliminan 8, 9 y 10, con lo que nos quedan 40 cartas en lugar de 32 y da lugar a robar el mazo.

Los triunfos son llamados matadores y consisten en el As de espadas (pique) o *espadilla*, el As de bastos (trébol) o *basta*, y el dos o el siete, según el palo, que se llama *manilla*. En cuanto a las diferentes jugadas posibles, tenemos el solo, el todo, el codillo, la bola, la tenaza, que son explicadas en el texto de Leibniz. También hay diferentes palabras especiales como la bestia, o puesta, las cartas compradas, que se roban mediante un cierto pago, y la respuesta, cuando uno de los jugadores que no es el Hombre consigue obtener tantas bazas como él. En cuanto al hombre, es el que mantiene la iniciativa del juego. En cuanto al estilo del juego, Leibniz nos dice: "Durante el juego o el descarte, no hay que hablar a la ligera, pues los españoles son afectos a la gravedad y exigen mucha exactitud y aplicación en este juego, por ello si el hombre nombra un color por otro al hacer el triunfo, no le está permitido retractarse. . ." Aparecen en el texto de Leibniz muchas otras reglas que garantizan la seriedad y la equidad del juego, sobre todo en lo que se refiere a las cartas descubiertas por error o en los jugadores que se desdicen o que separan una carta para jugarla y luego la cambian. Toda carta puesta sobre la mesa "se levanta con el codo" según el dicho español.

En realidad las reglas expuestas por Leibniz resultan incompletas si queremos jugar el juego sin más amplia información. El también da por supuestas muchas de las normas que todo el mundo conocía en la época y se centra sobre todo en las peculiaridades del juego.

Todavía hubo no obstante varios autores posteriores a Leibniz que se ocuparon de analizar los juegos de azar, como de Moivre e incluso Laplace, ya en el siglo XIX, que se ocupa en su "Teoría analítica de las probabilidades" de algunos juegos de lotería y otros semejantes. La teoría de la probabilidad va desarrollando sus aspectos lógico y matemático aplicando los nuevos métodos del cálculo infinitesimal, la teoría de errores, los logaritmos, etcétera a nuevas aplicaciones más interesantes o más a la moda, como la demografía, o el comercio.

12. *Official rules of card games*, ed. Albert H. Morehead, The U. S. Playing Company, Cincinati, Ohio. 53 ed. Racine Wisconsin. (1887-1963).

EL ORIGEN SOCIAL DE LA QUIMICA

Patricia Elena Aceves Pastrana *
Francisco Javier Cepeda Flores **



Andrógeno o Rebis; mercurio, de mucha importancia en la alquimia.

elementos núm. 7, año 2, vol. 1. Impreso en México

Introducción

En la medida en que, en el momento actual, los químicos y el resto de los profesionales de las ciencias naturales se forman de acuerdo a un modelo positivista, la educación que reciben es profundamente acrítica, ahistórica y desprovista de un contexto económico-social. Hoy, la crisis por la que atraviesan los países latinoamericanos está obligando a las universidades a buscar una mayor vinculación con las necesidades prioritarias de la sociedad.

Ha llegado la hora de aceptar que la agudeza de la problemática nacional, reflejada en la pobreza creciente de las clases mayoritarias y en el aumento de la dependencia tecnológica, nos ha demostrado contundentemente que estamos muy lejos de conocer nuestra realidad y que la ciencia además de un *cómo* tiene un *por qué* y un *para quién*.

Por tal motivo, no podemos seguir impartiendo en las aulas una enseñanza parcializada y dirigida hacia un área restringida del conocimiento, que no contempla los aspectos referentes al entorno económico-social y científico-tecnológico, en el que tendrán que in-

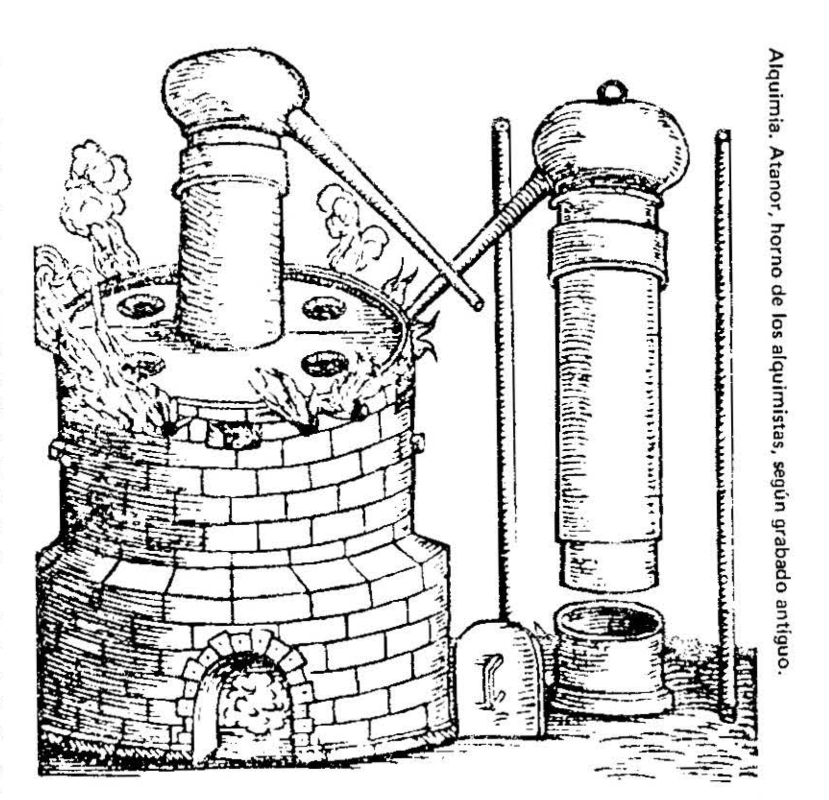
* Departamento de Sistemas Biológicos, C.B.S. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calz. del Hueso No. 1100, Col. Villa Quietud 04960, México, D.F.
** Programa de Ciencia y Sociedad. Facultad de Ciencias, UNAM. Ciudad Universitaria, México, D.F.

sertarse los egresados para desarrollar su práctica profesional.

Es urgente que abandonemos los moldes de la educación tradicional y tratemos de construir con la premura que nos impone la crisis una nueva concepción del conocimiento.[1]

Dentro de esta línea de pensamiento, creemos que el estudio de la historia social de las ciencias es conveniente no sólo para comprensión de la génesis de las teorías científicas y de las características sociales que hicieron posible su producción, sino también de la repercusión que tuvieron los conocimientos generados sobre el desarrollo de la sociedad.[2] El interés de dedicar este trabajo al estudio de los rasgos experimentales, epistemológicos y sociales más sobresalientes de la alquimia alejandrina desarrollada entre los siglos I y VII de nuestra era, está dirigido a proporcionar algunos elementos que nos permitan acercarnos a las raíces del pensamiento de los químicos de hoy en día, a la reconstrucción del contexto científico cultural que dio origen y permitió la continuidad de la alquimia occidental, a la comprensión del significado que en el pasado tuvieron las nociones de materia, elemento y cambio químico.

A los largo de este ensayo pretendemos demostrar que, desde sus inicios, la construcción de los conceptos fundamentales de la química se ha llevado a cabo mediante un proceso en continua reestructuración, pero circunscrito a los límites que le impone la sociedad y la época en las que tiene lugar.



Alquimia. Atanor, horno de los alquimistas, según grabado antiguo.

Contexto histórico de la alquimia alejandrina

Empezaremos recordando que la palabra química proviene del vocable *chemia* que era utilizado en la antigüedad para designar tanto a Egipto como el arte egipcio. Posteriormente durante la alquimia árabe se añadió el prefijo *al* formando la palabra alquimia que sirvió para designar el arte de la química.[3]

La alquimia alejandrina era una actividad muy compleja que comprendía tanto un conjunto de técnicas utilizadas en la obtención, tratamiento y purificación de los metales, como un cuerpo de teorías filosóficas, místicas y gnósticas acerca de la materia, el hombre y el universo. En ella se encontraban presentes los trazos provenientes de una larga evolución, en la que habían intervenido además de los elementos greco-egipcios, los del cristianismo, judaísmo y neoplatonismo característicos del pensamiento y del orden social de aquella época.[4]

Haciendo un poco de historia, podemos situar la aparición de la alquimia alejandrina en el primer siglo de nuestra era, al final de la etapa que se conoce dentro de la cultura griega como el período alejandrino o helenístico. Dicho periodo se inicia cuando a la muerte de Alejandro el Magno (323 A.C.), uno de sus generales llamado Ptolomeo, se apoderó de Egipto dando comienzo a la dinastía Ptolomeica que duró trescientos años. Los miembros de esta dinastía se distinguieron por ser hombres y mujeres interesados en la tradición del estudio; el segundo de sus miembros fundó el Museo de Alejandría, considerado como uno de los episodios más fecundos dentro de la historia de la tecnología antigua[5] Alejandría en pocas generaciones se convirtió en el centro económico e intelectual del mediterráneo oriental, donde se concentraban los hombres de ciencia más renombrados. Sin embargo, las dos primeras centurias de la escuela alejandrina fueron las más activas, ya que entre los años 100 a de n.e.- 200 d. de n. e. languideció, y a partir

1. Simposio Internacional de Ciencia y Sociedad, México 1979. "Revalorización social de la ciencia", Programa de Ciencia y Sociedad, Facultad de Ciencias, UNAM, México 1984.
2. Pereyra, C., *et al*, *Historia ¿para qué?* Siglo XXI, México 1985.
3. Partington, J.R. *Historia de la química*, Espasa Calpe, Argentina, 1945, p. 38.
4. Berthellot, M. *Les Origines de la Alchimie*, George Steinheil Ed. Paris, 1885.
5. Anderson, P. *Transiciones de la Antigüedad al Feudalismo*, siglo XXI, México, 1979, pp. 40-47.

del 200 d. de n. e. decayó rápidamente, aunque la actividad científica se mantuvo aún de manera esporádica hasta el año 400 d. de n. e. Durante este tiempo la ciencia griega estuvo en contacto con la técnica y la ciencia de las viejas culturas no sólo de Egipto y de Mesopotamia, sino también, en cierta medida, con la cultura india.

En la etapa de mayor auge de la escuela alejandrina puede decirse que se desarrollaron en compartimientos separados a la ciencia, la ética y la religión, lo que permitió que la primera se fortaleciera, dando lugar a que las mayores contribuciones alcanzadas por los estudiosos del museo se realizaran en astronomía, matemáticas y física; disciplinas todas éllas relacionadas con las investigaciones subsidiadas por el Estado ptolomeico para el mejoramiento de los instrumentos militares y transportes.

Hacia el año 50 a. de n. e., Egipto pasó a ser provincia romana y bajo este imperio las escuelas de pensamiento que prevalecieron fueron el estoicismo y el epicureísmo, ambas indiferentes a la ciencia e interesadas de sobremanera en la ética, lo cual se reflejó en el desvanecimiento de la inspiración científica.[6]

La tradición filosófica, mística y gnóstica

En los primeros siglos de la era cristiana, Alejandría fue testigo de una mezcla extraordinaria de religiones, filosofías y sectas. Las principales escuelas filosóficas se apoyaban en el epicureísmo, en el estoicismo y en las ideas de Platón y Aristóteles. El cristianismo, el judaísmo y los elementos paganos se codeaban unos con otros. Los cultos del antiguo Egipto, Grecia y Roma apelaban a la devoción y a la superstición. Debemos considerar que la ciencia de aquellos días difería de la nuestra en su manera de concebir al mundo. El mundo era algo que el hombre no podía ni disfrutar, ni dominar, ni estudiar. La ciencia no tenía como finalidad el servirse de la naturaleza, sino más bien constituía una forma de contemplarla. El pensamiento de los hombres de este tiempo era profundamente místico, por lo que buscaron resolver sus cuestionamientos dentro de la fe y las creencias. Fue así como surgió el sistema que se conoció como neoplatonismo, que debió su amplia difusión al hecho de que incluía las experiencias del mayor número de educados. Esta tendencia se manifesto muy tempranamente en Alejandría. Philo, que era alrededor de 20 años más viejo que Jesucristo, desarrolló un sistema que utilizaba las escrituras judías, el pensamiento de Platón y Aristóteles y una dosis de misticismo, todo esto dentro del marco de una ciencia contemplativa. Los seguidores de Philo en los tres primeros siglos de nuestra era fueron escritores neopitagóricos y herméticos, entre los cuales se encontraron los primeros escritores cristianos y los primeros alquimistas. En el tercer siglo, la escuela neoplatónica alejandrina tuvo su mayor exponente en Plotinus, quien difundió sus postulados en Roma y en el resto del mundo. Las características metafísicas del neoplatonismo incluían la analogía del universo con el macrocosmos y del hombre con el microcosmos, conjuntamente se aceptaba que el universo había sido hecho para el hombre (realidad esencial) y que la materia, además de ser inferior a la idea, era maligna cuando se encontraba desprovista de idea o forma.

Durante la cuarta centuria el neoplatonismo floreció asociado con la teología de varias sectas y fue un serio rival para el cristianismo, tal como lo manifiesta el asesinato de Hypatia (415), cabeza del neoplatonismo de la escuela alejandrina y la quema del museo por los fanáticos cristianos. Sin embargo, la influencia del neoplatonismo pasó al cristianismo a través de los discípulos de Hypatia, especialmente de Sinecio (354-430), quien fue además de alquimista, obispo cristiano libre pensador.[7]

En la alquimia alejandrina se manifiesta de igual manera, su estrecha vinculación con el gnosticismo, que enseñaba según sus adeptos el verdadero sentido de las teorías filosóficas y religiosas utilizando símbolos y alegorías. Por tanto, no es de extrañar que los autores más antiguos como Zósimo, Sinecio, Olimpiodoro, etc., estuvieron imbuídos de nombres y de ideas gnósticas.[8]

A Hermes Trimegisto se debió la designación de la alquimia bajo el nombre de arte hermético. Los griegos habían identificado al dios egipcio Thoth, escriba de los dioses y depositario de la sabiduría, con el dios griego Hermes. Los latinos posteriormente también hicieron suya esta identificación de Thoth con Hermes o Mercurio. A este personaje se le atribuyeron una gran cantidad de obras en lengua griega, que trataban la astrología y las ciencias ocultas, las virtudes secretas de plantas y piedras y la fabricación de los metales para alcanzar los poderes de las estrellas. Asimismo, acompañando a estos tratados de magia y astrología, se incluía una colección de literatura hermética dedicada a los aspectos místicos y filosóficos.

Los hombres del siglo II tenían la firme convicción de que todo lo antiguo estaba impregnado de santidad y sabiduría. De ahí que durante el imperio Romano, se tuviera un gran interés por los cultos orientales. La opinión de que Egipto había sido la cuna de todo conocimiento y que los grandes filósofos habían visitado sus tierras ayudó a que los templos egipcios fueran visitados por los devotos grecorromanos, que trataban de encontar a través del hermetismo el camino de la revelación. Existía la creencia de que las estrellas

6. Singer, C. *A Short History of Scientific Ideas*, Oxford University Press, Oxford 1982, pp. 62-102.

7. Singer C. *A Short History of Scientific Ideas to 1900*, pp. 103-136.

8. Berthellot, M. *Les Origines de la Alchimie*.

También se citan nombres de reyes, de profetas y de filósofos de la antigüedad, como Cleopatra, Moisés, Demócrito, Jámblico y Ostátenes cuya justificación puede darse en los mismos términos. Por último, tenemos los nombres que pertenecen a personajes reales que vivieron en diferentes etapas de la alquimia alejandrina, que son mencionados dentro de los manuscritos bizantinos y árabes: Zósimo, que escribió en griego una especie de enciclopedia química, formada por un conjunto de tratados teórico-prácticos que se remontan al siglo III d. n. e; Africanus, polígrafo célebre del siglo III d. n. e; Pelagio, Tertuliano y otros. Posteriormente aparecen los comentaristas del pseudo Demócrito: Sinecio, Olimpiodoro y Stéfano; habiendo sido respectivamente el uno obispo, el otro embajador y el último médico, todos ellos conocidos en la historia de los siglos IV al VII. En la misma época la alquimia adquiere suficiente notoriedad para ser sujeto de poetas célebres como Heliodoro, Teofrasto, Hieroteo, Archelao y otros. Enseguida encontramos los escoliastas, monjes bizantinos de los siglos VII al IX que escribieron glosarios y comentarios de Zósimo, Sinecio, Olimpodoro, etc. Por estos años se realizó la trasmisión de la ciencia griega a los árabes y se inició propiamente la alquimia árabe.[12]

La práctica experimental de los alquimistas

Los metales figuraron en la historia de Egipto y de Grecia ya sea como botín de guerra o como tributo de los pueblos vencidos. Utilizados en la fabricación de joyas, telas, ornamentos, instrumentos, armas y en la acuñación de monedas, eran símbolos del poder y la riqueza. Aquí se debe mencionar que los antiguos egipcios, en la lista de minerales particularmente preciosos hacían una filiación entre los metales y piedras preciosas ordenados de la manera siguiente: oro, electrum (aleación de oro y plata), plata, zafiro, esmeralda, cobre, bronce, fierro, plomo. El estaño y el mercurio fueron añadidos en la época griega y romana a la lista de los alquimistas alejandrinos.

Los alquimistas no tenían idea de que existiera solamente una especie química llamada, oro, plata, etcétera, no sabían como nosotros que los metales son elementos químicos a los que corresponden configuraciones electrónicas y un conjunto de propiedades fisicoquímicas, para ellos, por ejemplo, el oro era algo brillante, pesado, amarillo, que no se enmohecía y era resistente al fuego. La idea principal de los alquimistas era la de modificar las propiedades de los metales por medio de tratamientos adecuados para teñirlos en oro y en plata; pero no de una manera superficial, sino de una manera íntima y completa. De acuerdo a sus creencias, la ciencia sagrada comprendía dos operaciones fundamentales, la xantosis, o arte de teñir en amarillo y la leucosis o arte de teñir en blanco. Algunos otros hablaban de la melaniosis o arte de teñir en negro y de la iosis o arte de teñir en violeta.

Así, para dorar la superficie del cobre o la plata, se empleaba el dorado por amalgamación, o bien se depositaba una aleación de oro y de plomo. Pero para teñir los metales a fondo se utilizaban procedimientos de aleación tales como el bronce y el latón, que eran considerados como los más misteriosos. Estas operaciones de teñido se encontraban fuertemente ligadas a la tradición del teñido de telas y vidrios realizados desde la antigüedad.

Hasta donde se conoce, los alquimistas más antiguos ya conocían el proceso de la destilación. La primera descripción de un alambique se debe a María la Judía, tal como lo describe Zósimo en uno de sus escritos. Parece ser que los alquimistas destilaban toda clase de productos vegetales y animales.

La sublimación también fue practicada desde tiempos muy remotos, haciendo uso de ella obtenían el mercurio a partir del cinabrio rojo (óxido de mercurio). El número de aparatos utilizados por los alquimistas era aproximadamente de ochenta, entre ellos podemos citar: hornos, crisoles, baños maría, filtros, coladores, retortas, alambiques, platos, vasos, lámparas, baños de ceniza, camas de estiércol, hornos de rebervero, jarras, frascos, morteros, batidores, sublimadores, aparatos de reflujo, etcétera. Asimismo hacían uso de todo tipo de recetas para preparar una batería de productos químicos que incluían sales, óxidos, ácidos minerales, bases, colorantes y aleaciones, entre otros.[13,14,15]

Los conceptos alquimistas de materia, elemento y cambio químico

Desde el punto de vista epistemológico, es decir del significado que tenían las nociones de materia, elemento y cambio químico en esta edad temprana de la química, se puede considerar que los alquimistas alejandrinos contaban con un sistema teórico complejo para explicar su práctica.

En estas teorías se manifestaban tanto las doctrinas de la escuela jónica y de los filósofos naturalistas griegos acerca de los elementos, como los enunciados platónicos y aristotélicos sobre la materia.

Postulaban la existencia de una materia universal que llenaba todo el espacio, el vacío era imposible. Esta materia estaba diferenciada en cuatro elementos intercambiables: tierra, agua, aire, fuego, que ocupaban la esfera sublunar y en un quinto elemento o quinta esencia que formaba los cielos.

Todos los cuerpos contenían al mismo tiempo los cuatro elementos y su propiedades se explica-

12. Taylor, F.S. *Los alquimistas*, pp. 32-55.

13. Tayor, F.S. *Los alquimistas* . . . p. 33-55.
14. Berthellot, M. *Les Origines de la Alchimie.*
15. Partington, J.R. *Historia de la química*, pp. 20-45.

ban por la proporción en la que se encontraban presentes dichos elementos. Estos a su vez estaban asociados a las propiedades ocultas de calor, sequedad, frío y humedad. De manera que estas cualidades eran las responsables de las propiedades manifiestas de los cuerpos. Rechazaban la teoría atómica y aceptaban que la materia era un continuo divisible indefinidamente. Dentro de este pensamiento, los elementos o principios eran sustancias ideales, aproximaciones abstractas, reales en el sentido de que existían en la materia, pero ideales ya que no podían ser obtenidos puros para ser observados y manipulados. Estas concepciones que fueron el producto de sociedades jerárquicas y profundamente religiosas llevaban impresa la idea de que en la naturaleza, y por ende en la materia, existían los grados de perfección.

Además, los cuerpos materiales que habían sido creados por la voluntad de una inteligencia del universo, para cumplir con un fin determinado, guardaban entre sí una cierta jerarquía. Por ello, aceptaban que la materia podía alcanzar diferentes niveles de espiritualidad, dependiendo del contenido de la parte más sutil o espíritu, que era superior a la parte de la materia pesante.

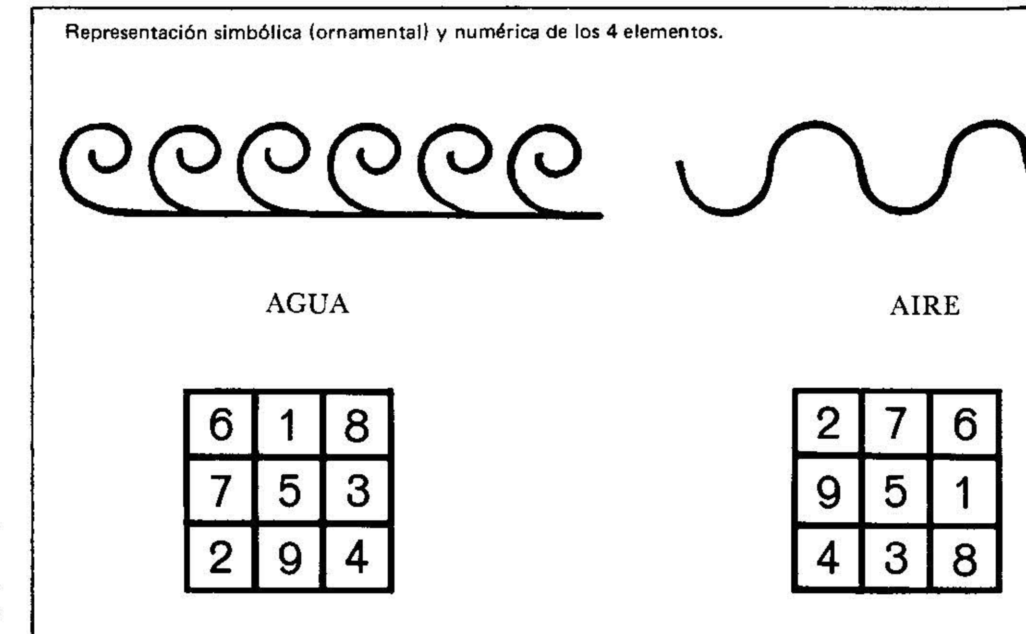
La idea de jerarquía también se encontraba en los elementos, ya que el quinto elemento o éter era incambiable, eterno y su presencia estaba restringida a las esferas celestes, dominio de los dioses. Asimismo, el carácter espiritual con el cual dotaban a los elementos se reflejaba claramente en la teoría de las formas, dado que las cualidades ocultas eran las que daban origen a las propiedades observables.

La noción sustancial de elemento reunía una confusión múltiple ya que era utilizada tanto para nombrar una cualidad: frío y humedad en el caso del agua, como para designar los estados generales de la materia: sólido (tierra), líquido (agua), gaseoso (aire), o bien los fenómenos naturales de solidificación, licuefacción, vaporización. Asimismo podía ser usada en relación a una sustancia en particular como el agua o el aire, en los que se pensaba que debían predominar los elementos del mismo nombre.

Las trasformaciones químicas eran consideradas no como una combinación de sustancias que daba origen a nuevos compuestos, sino como un cambio en la forma de la materia; es decir, como un cambio en sus cualidades. De esta manera, cuando sucedía un cambio químico, los elementos que integraban los cuerpos podían interconvertirse unos en otros, ya que estaban formados por la misma materia común que solamente alteraba su forma.

Esta suposición conducía a la hipótesis de que si una sustancia era reducida a una materia lo suficientemente simple, podía adoptar la forma de cualquier sustancia, lo que hacía factible la posibilidad de transformar los metales en oro.[16,17,18 y 19]

16. Stillman, J.M. *The Story of Early Chemistry*, Dover Publications Inc.
17. Berthellot, M. *Les Origines de la Alchimie*. . .
18. Boas, M. *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*, Cambridge University Press, London, 1958, pp. 75-86



Representación simbólica (ornamental) y numérica de los 4 elementos.

El valor social de la alquimia

Desde el punto de vista social, salta a la vista el papel que desempeñaron desde la antigüedad los metales dentro de la sociedad. El trabajo de los metales tuvo siempre un valor económico y político aparejado a ciertas consideraciones de índole mística y mágica que a su vez le otorgaban poder al grupo social que detentaba su conocimiento. Ya hemos señalado que los egipcios, por tradición, eran muy diestros en el trabajo de los metales y podemos añadir que el grado de avance alcanzado en las técnicas metalúrgicas fue muy elevado, ya que correspondía a una actividad social que representaba dentro de la economía un factor productivo de vital importancia.

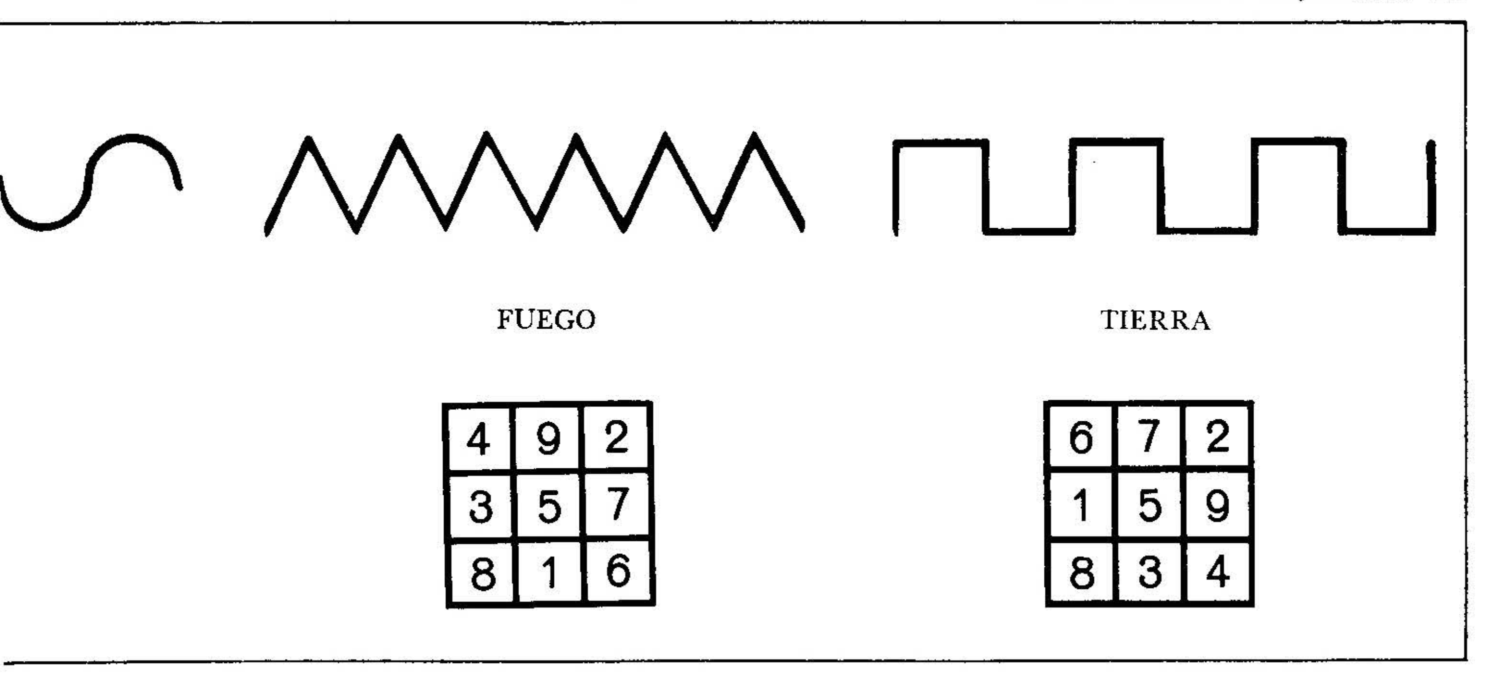
Los alquimistas alejandrinos, herederos directos de esta tradición, conocían, además de las técnicas de laboratorio, la cultura de su época; no eran de ningún modo charlatanes ignorantes o aprendices de brujo, sino hombres dedicados al estudio, miembros de la escuela alejandrina, que tenían el privilegio de poder acceder a la información secre-

19. Singer, C. *The History of Scientific Ideas to 1900*, pp. 100-136

ta referente al arte sagrado. La opulencia de los centros científicos de la escuela alejandrina donde se practicaba la alquimia, como el museo, la biblioteca y el *Sepapeum de Menfis* es un indicador claro de la filiación de los alquimistas con las clases poderosas de la sociedad.

Otra característica de la alquimia era la de ser una práctica secreta; este hecho guarda remembranza con las antiguas industrias metalúrgicas cuyo monopolio estaba reservado a los faraones. Con el fin de preservar el secreto, los alquimistas hacían un juramento de no revelar su arte, escribían muchas veces bajo seudónimos y usaban en sus textos todo tipo de alegorías y simbolismos que hacían imposible la lectura para cualquier persona ajena a su grupo. Aun durante la dominación romana, existía la creencia de que en los libros del arte sagrado se encontraba la manera de preparar el oro y la plata que había permitido la riqueza y el poder de los reyes de antaño. Por este motivo, los emperadores romanos, prohibieron su ejercicio en varias ocasiones e hicieron quemar los libros referentes a ella. Esta actitud fue además forzada por la tendencia a considerar que la alquimia encerraba una filiación maldita e impía, pues los escritos alquimistas siguiendo la usanza de los pueblos primitivos, eran acompañados de fórmulas mágicas y astrológicas para forzar la voluntad de los dioses.

En este punto volveremos a señalar que el pensamiento de la época veía como natural la jerarquía en la naturaleza ya que se trataba de una sociedad que había mantenido a través de los faraones, de la dinastía Ptolomeica y del protectorado romano sucesivamente, una estructura piramidal y autoritaria en la que algunos grupos sustentaban el poder y la economía a costa de explotar a la mayoría de la población que no tenía derecho a una representación dentro del régimen ni acceso a la educación o a los puestos públicos.[20] Asimismo dentro de la visión del mundo de esta sociedad, no se concebía la marcha de los acontecimientos sin la ayuda de los dioses; sus designios estaban presentes en la vida diaria, en los nacimientos, en las muertes, en las cosechas, en las guerras y, como ya hemos visto, en la ciencia. Estos elementos impregnaron fuertemente tanto el pensamiento de los alquimistas, como el de las obras que les sirvieron de fuente de la inspiración. De esta manera, la autoridad alcanzada entre los hombres de ciencia por la teorías de Platón y Aristóteles, puede explicarse, en parte, porque encerraban una interpretación racional del universo que se alejaba del simbolismo y del gnosticismo pagano y en parte, porque habiendo sido generadas durante el período esclavista griego, comprendían concepciones que no se contraponían con la visión del mundo de la sociedad alejandrina. En ellas, la idea de los grados de perfección dentro del universo ordenaba la jerarquía en la materia, en los seres vivientes y aun en los cielos.[21,22]



20. Anderson, P. *Transiciones de la Antigüedad al Feudalismo*, pp. 10-47

Conclusiones

El análisis epistemológico de las nociones alquimistas de materia, elemento y cambio químico nos

21. Berthellot, M. *Les Origines de la Alchimie*.
22. Singer, C. *The History of Scientific Ideas to 1900*.

mostró que su elaboración no se hizo en base a una comprobación experimental, sino que esta explicación de la naturaleza se fundamentó, principalmente, en un conjunto de creencias arraigadas fuertemente en las mentes de los hombres de aquel tiempo por la tradición y por el orden social existente.

Asimismo, nos permitió poner en evidencia que conceptos que en la actualidad nos parecen tan objetivos, sólo han sido desde su aparición intentos y aproximaciones de interpretar la realidad, ya que el conocimiento de ésta conforma un proceso en el que no existen supuestos acabados y verdades absolutas.

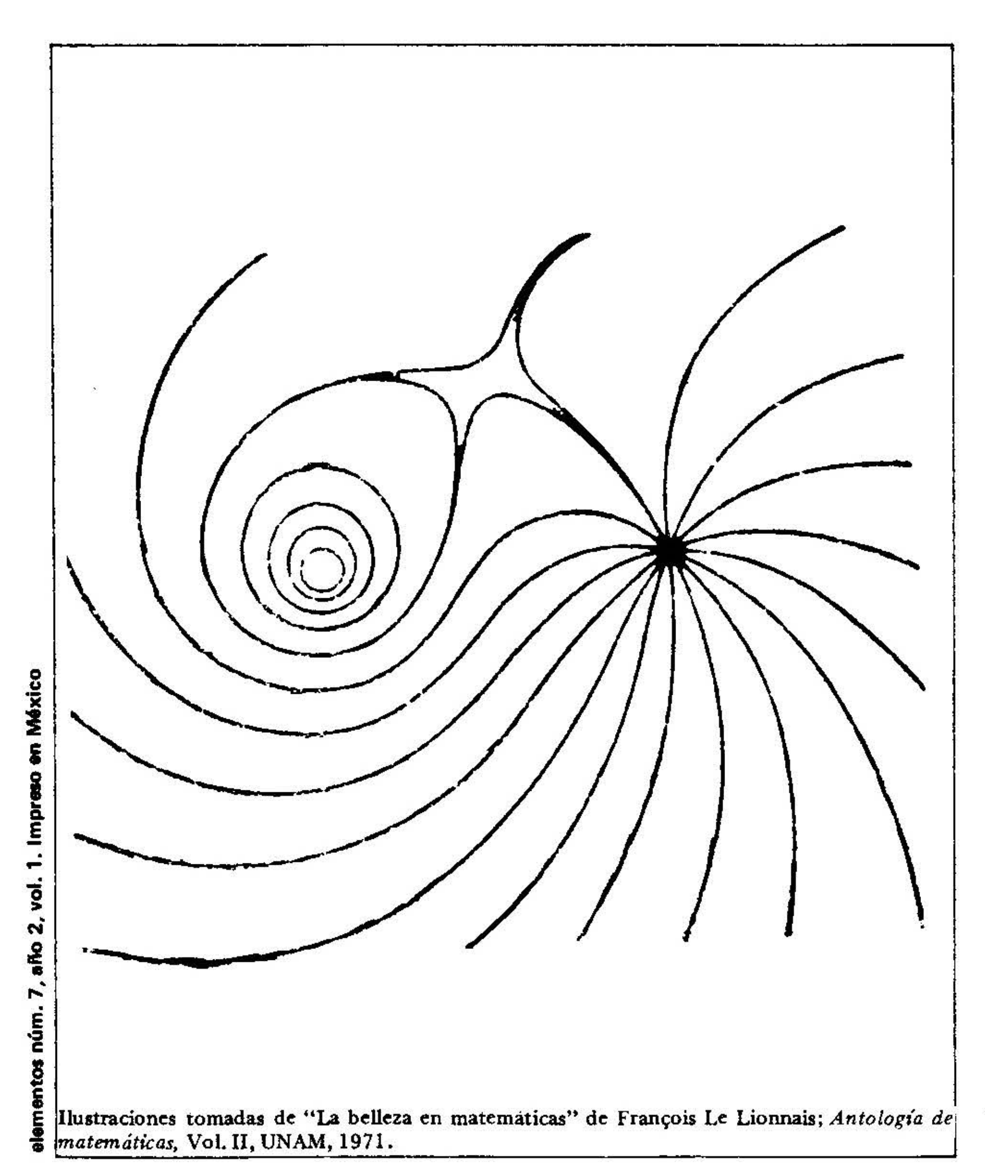
Otro aspecto que pudimos corroborar fue que la visión del mundo de la sociedad alejandrina, además de formar parte del pensamiento científico circunscribió los límites del mismo.

Bibliografía

1. Anderson, P. *Transiciones de la Antigüedad al Feudalismo,* Siglo XXI, México 1979.
2. Berthellot, M. *Les Origines de la Alchimie,* Georges Steinheil Editeur, París, 1885.
3. Boas, M. *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry,* Cambridge University Press, London 1958.
4. Partington, J.R.. *Historia de la química,* Espasa Calpe, Argentina 1945.
5. Pereyra, C. y otros: *Historia ¿para qué?,* Siglo XXI, México, 1985.
6 Simposio Internacional de Ciencia y Sociedad, México, 1979. "Revalorización social de la ciencia", Programa Ciencia y Sociedad, Facultad de Ciencias UNAM, 1984.
7 Singer, C. *A Short History of Scientific Ideas To 1900,* Oxford Unversity Press, Oxford, 1982.
8. Stillman, J.M. *The Story of Alchemy and Early Chemistry,* Dover Publication Inc.
9. Taylor, F.S. *Los alquimistas,* Fondo de Cultura Económica, México, 1977.
10. Yates, A. F. *Giordano Bruno y la tradición hermética,* Ariel, Barcelona, 1983.

DESCUBRIMIENTOS CIENTIFICOS Y DESARROLLO DE LA FILOSOFIA

Pedro Luis Sotolongo, Miriam Verdes Suárez, Lourdes Rensoli Laliga, Jesús García Brigos*



Ilustraciones tomadas de "La belleza en matemáticas" de François Le Lionnais; *Antología de matemáticas*, Vol. II, UNAM, 1971.

elementos núm. 7, año 2, vol. 1. Impreso en México

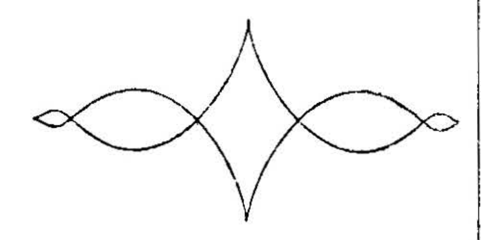
Introducción

En el siguiente trabajo se establecen tres tipos históricos de unidad de los conocimientos científicos: un primer tipo que corresponde al periodo histórico que va desde la Antigüedad hasta el siglo XVI, el cual comprende dos etapas, una desde la Antigüedad hasta el siglo III –periodo de la *protociencia*– en el que se crean las condiciones, los gérmenes de la actividad científica, y otra que abarca desde el siglo III hasta el XVI. Este primer tipo de unidad de los conocimientos científicos se caracteriza por el predominio de la tendencia a la integración de los conocimientos científicos. Un segundo tipo de unidad de los conocimientos científicos que se corresponde con el periodo histórico que media desde el siglo XVI hasta la mitad del siglo XIX, caracterizado por un predominio de la tendencia a la diferenciación de los conocimientos científicos. Y por último, un tercer tipo de unidad de los conocimientos científicos que se corresponde con el periodo histórico que abarca desde mediados del siglo

* Facultad de Filosofía e Historia, Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Cuba.

CLASICISMO

Ahí todo es orden y belleza,
Lujo, calma y voluptuosidad.



C. Baudelaire

Curva obtenida aplicando a un astroide (= hipocicloide de 4 retrocesos) una transformación de Joukowsky.

XIX hasta nuestros días, en el cual se expresa de nuevo como dominante la tendencia integradora, aunque en un más alto nivel cualitativo.

La unidad de los conocimientos científicos se hace posible por la existencia de determinadas premisas, tanto en lo que respecta a la realidad objetiva como en lo referente al proceso del conocimiento de esa realidad objetiva. Las premisas para esclarecer lo anterior las encontramos en:

- La unidad material del mundo
- La universalidad del movimiento dialéctico de la materia
- La universalidad del enlace entre los objetos
- La universalidad de la causalidad
- La universalidad del desarrollo de los procesos.

Estas premisas de la realidad objetiva se expresan, a su vez, en la conciencia de los hombres que reproducen idealmente la regularidad objetiva en forma de reflejo verdadero, reflejo subjetivo por su forma y objetivo por su contenido, de esa realidad.

Es a partir de la existencia de esas premisas que se construye la unidad de los conocimientos científicos. Pero esta unidad se materializa como resultado de *un proceso en continuo desarrollo.* Ello es lo que da la posibilidad de distinguir, en diferentes momentos de dicho proceso, diferentes tipos de unidad. Ahora bien, para hablar de tipos históricos de unidad de los conocimientos científicos es necesario, ante todo, definir un criterio metodológico que permita distinguir en qué consisten las diferencias y similitudes que expresan a lo largo del devenir histórico dichos diferentes tipos de unidad.

Tomando en cuenta lo anterior, concebimos la unidad de los conocimientos científicos como un proceso en desarrollo que se abre paso a través de dos tendencias contrarias dialécticamente: las tendencias hacia la diferenciación y hacia la integración.

En todo momento, en el desarrollo de los conocimientos científicos están presentes tanto la tendencia a la diferenciación como la tendencia a su integración. Pero ello no quiere decir que en todas las épocas históricas permanezca invariable la correlación entre estas dos tendencias. Todo lo contrario: de periodo en periodo, estas dos tendencias, siempre actuantes, presentan diferente correlación, predominando en unos casos la tendencia a la diferenciación de los conocimientos científicos, mientras que en otros predominará la tendencia hacia su integración. Precisamente los diferentes estudios o etapas de dicha correlación proporcionan los diferentes tipos históricos de unidad de los conocimientos científicos.

Lo anterior constituye un criterio metodológico guía para la indagación acerca de estos tipos históricos de la unidad de los conocimientos científicos y de las variaciones esenciales que ha experimentado la correlación entre su diferenciación y su integración. En cada época histórica, la unidad de los conocimientos científicos representa la resultante de la correlación establecida entre esas dos tendencias, sin que pueda ni deba reducirse a ninguna de las dos en particular.

El criterio metodológico establecido más arriba para distinguir los diferentes tipos históricos de unidad de los conocimientos científicos lleva, como de la mano, a indagar los factores que intervienen en los momentos históricos en que tiene lugar una contradicción en la interacción dialéctica entre su diferenciación y su integración produciéndose entonces, el *tránsito* desde el anterior tipo de correlación entre las tendencias diferenciadora e integradora de los conocimientos científicos a un nuevo tipo de correlación, así como a indagar el papel en dicha transformación de las revoluciones científicas.

El proceso de desarrollo de los conocimientos científicos no debe verse con independencia de sus influencias recíprocas con el proceso de desarrollo de los conocimientos filosóficos y es sumamente útil examinar las interrelaciones que se establecen entre los diferentes tipos de unidad de los conocimientos científicos y el desarrollo de la filosofía. Por otra parte, consideramos necesario delimitar los conceptos, los conocimientos científicos y la ciencia con el objeto de que su utilización no se preste a confusión. El concepto de ciencia hoy en día no está totalmente elaborado pero, aun así, la ciencia tal como la concebimos en la actualidad puede vincularse a la aparición y desarrollo de las ciencias particulares como tales y, en este sentido, como sistema de conocimientos integrados que expresan la esencia de las regularidades de los diferentes tipos de movimientos.

La mayoría de los autores señalan los siglos XV y XVI, cuando se consolidan el método científico y el método experimental y la actividad científica adquiere autonomía especial con el surgimiento de instituciones especializadas. En el proceso de desarrollo de los cono-

cimientos científicos y la práctica social los investigadores fueron seleccionando de manera meticulosa y tenaz los medios y formas del conocimiento científico más efectivos y desecharon aquéllos que no surtieran los efectos deseados, de manera que en el decurso del tiempo los científicos han acumulado, sintetizado teóricamente y perfeccionado los diversos medios para impulsar los conocimientos científicos y, a su vez, han desarrollado la lógica y la metodología de las investigaciones científicas, tareas éstas que cada día adquieren mayores dimensiones. Junto a la relación dialéctica fundamental entre la integración y la diferenciación de los conocimientos científicos que constituye el centro de atención de nuestro trabajo, existen otras relaciones más particulares que inciden en la formación de los diferentes tipos históricos de unidad de los conocimientos científicos. Las mismas requieren un tratamiento especial que por limitaciones de un trabajo como éste no pueden ser abordadas.

Primer tipo de unidad de los conocimientos científicos

El primer tipo de unidad de los conocimientos científicos que se aborda en el tiempo abarca desde la Antigüedad hasta el siglo XVI, y comprende un primer subperiodo que se extiende hasta el siglo III y otro que llega hasta el siglo XVI.

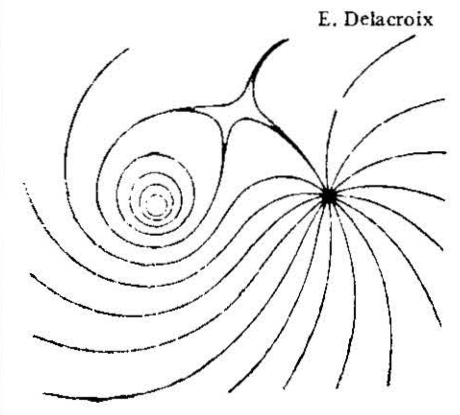
Superiodo hasta el siglo III

Este primer tipo de unidad puede caracterizarse como la etapa de la contemplación directa. En él no existe diferenciación de las ciencias como tales, ya que éstas se encuentran en estado embrionario. Las ramas particulares de las ciencias naturales en la primera etapa de desarrollo en la Grecia antigua no experimentaron un desarrollo notable, ya que la física no estaba separada de la química y la biología se encontraba en la fase de acumulación de material fáctico. Hasta el periodo posclásico o alejandrino no se expresan con claridad los signos de la diferenciación. Las ciencias naturales eran consideradas como una física única, como una ciencia única sobre la naturaleza.

ROMANTICISMO

Hay líneas que son monstruos.

E. Delacroix



Algunas curvas que satisfacen la ecuación diferencial:

$$y' = \frac{x[(x-a)^2 + y^2] - y(x^2 + y^2)}{(x-a)(x^2 + y^2) - y[(x-a)^2 + y^2]}$$

Las ciencias naturales coincidían en esta época con la filosofía naturalista. Sin embargo, la propia existencia predominante de esta concepción unitaria, integradora, supone la existencia de un proceso de diferenciación pues ambos contrarios –integración y diferenciación– forman una unidad dialéctica donde la existencia de uno presupone la existencia del otro, si bien es cierto que el proceso de diferenciación de las ciencias puede expresarse claramente sólo cuando las ciencias naturales se han desprendido de la ciencia filosófica única anterior, proceso que se evidencia al final de la Antigüedad cuando un grupo de conocimientos científicos interrelacionados van a ir presentando su tendencia a la separación –la matemática, la mecánica, la astronomía– Este proceso fue gestándose paulatinamente durante todo el periodo de la Antigüedad y no culminaría con el cambio y la correlación de la integración y la diferenciación a favor de esta última sino hasta finales de la Edad Media. Es oportuno destacar que en la Antigüedad fueron expresados los principios más importantes sobre los cuales se construyeron más tarde los sistemas más diversos del conocimiento científico-natural y social.

Para el pensamiento antiguo, en su reflexión existió la unidad primordial entre los problemas humanos y los cósmicos y esta unidad permite comprender las causas por las cuales el conocimiento científico se da dentro del propio conocimiento filosófico aunque se diferencia de éste. La unidad del saber en este periodo está condicionada también por la propia unidad que constituye la sociedad griega y su forma política, la *polis*. Además de otros factores sociales que condicionan la unidad de la cultura y la cosmovisión de los griegos, encontramos que éstos se interesan, desde sus inicios, por dos cosas: el individuo y la sociedad. Las ideas y conceptos iniciales con que los griegos abordan el estudio de la naturaleza se enmarcan dentro de la filosofía natural-especulativa. Por ejemplo, los griegos no poseen, al inicio, un concepto desantropomorfizado de *justicia*, y ese concepto se traslada a la naturaleza, sin que exista aún distinción entre ley social y ley natural. De esta misma forma, el movimiento se concibe como movimiento biológico y no en surgimiento y desaparición de cosas, sino en *generación* y *corrupción*.

Es conveniente destacar que la forma mítica de esta primera reflexión sobre la naturaleza implicaba una reflexión sobre el propio hombre; por ello coincidimos con la valoración expresada al respecto por el hostoriador de la filosofía Rodolfo Mondolfo, en su obra *El pensamiento antiguo*: "La reflexión

sobre el mundo se había venido desenvolviendo ya en la civilización prehelénica y después en la griega en forma mítica, divinizando las grandes fuerzas y los mayores seres de la naturaleza y dándoles figuras humanas (antropomorfismo), y representando sus relaciones sobre el tipo de las que aparecen entre los hombres en la vida social: uniones y generaciones; luchas y contrastes de amor y de odio; jerarquías, gobiernos y leyes, etc. Así al dirigir su meditación al mundo de la naturaleza, la mente griega aplicaba formas y conceptos extraídos de la meditación sobre el mundo de los hombres y de sus creaciones (cultura). No es cierto pues lo que suele decirse, que el hombre observa las cosas más lejanas (como el cielo) y se plantea los problemas de la naturaleza antes de volverse para considerar las cosas humanas y plantearse los problemas de la vida: precisamente lo contrario es lo verdadero, es decir, que estos problemas humanos y los conceptos relativos a ellos han dado el modelo y la orientación a la primera reflexión sobre la naturaleza."[1]

El problema cosmológico se destaca netamente como objeto de investigación desde finales del siglo III a.n.e. Es un objeto concreto de la investigación que se separa del complejo de problemas que se abordan como un todo, lo que no significa exclusión de los problemas, siempre presentes, sino la acentuación del interés por el conocimiento de la naturaleza, la búsqueda de un principio primordial generador de todo lo existente, y el proceso de formación y de orden en el cosmos. Es precisamente este principio unificador, primordial, generador de todo lo existente (principio filosófico) que actúa como prinipio integrador.

Así podemos ver en las concepciones de los jónicos, primera escuela filosófica (siglos VI-V), que el principio primero es una materia animada por una fuerza interior de movimiento y transformación. Para Tales de Mileto dicho principio es el agua, para Anaxímenes es el aire, para Anaximandro el *apeiron* y para Heráclito de Efeso el fuego.

La filosofía interactúa en el conocimiento científico desde dentro, supliendo con su concepción del mundo elaborada especulativamente las insuficiencias del material científico acerca de la realidad.

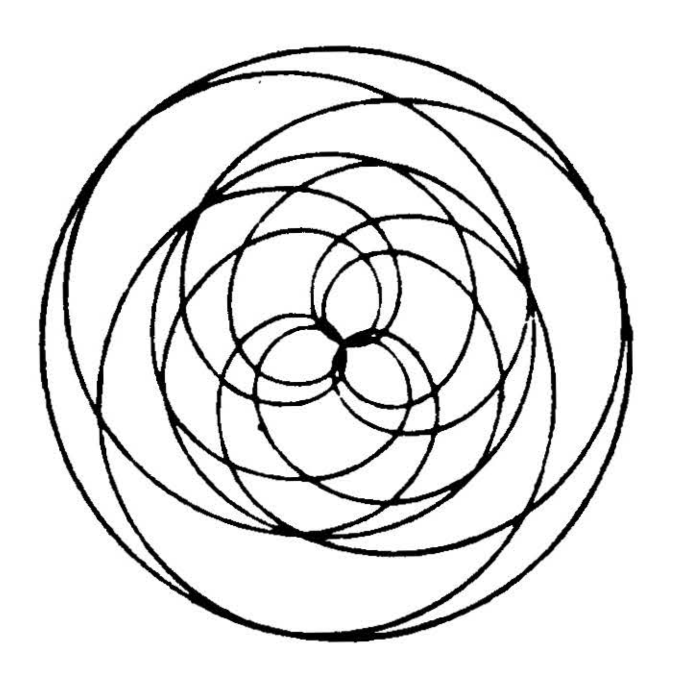
En el pensamiento griego la concepción del mundo basada en el propio movimiento de la naturaleza expresa un carácter panteísta e hilozoísta, pero el propio hecho del surgimiento del pensamiento filosófico permite descubrir un nuevo cuadro del mundo y desarrollar la idea del universo como un todo armónico y total, determinado casualmente. La base de esta unidad es un fenómeno único, materia prima de la cual surgen todas las cosas. Esto mismo será una de las bases de la unidad del pensamiento científico en este periodo.

La creación del método racional *a priori* y el estilo de pensamiento matemático y formal confieren al conocimiento científico antiguo en su conjunto una unidad y un hilo de continuidad que no abandonará hasta la desaparición del mundo helénico.

El método utilizado por los griegos —deductivo, lógico y racional— permitió una concepción general de la naturaleza y, como expresara Engels: "Todo lo que las ciencias naturales de la primera mitad del siglo XVIII estaban por encima de la Antigüedad griega en punto al conocimiento e incluso

Era un palacio infinito
Lleno de fuentes y cascadas
Que caían en el oro mate y bruñido.

Charles Baudelaire



Rodanea: $\rho = \frac{3}{10}\Theta + \frac{1}{5}$

1. Rodolfo Mondolfo, *El pensamiento antiguo*, tomo II, Ed. Ciencias Sociales, La Habana, 1971, pp. 275-276.

a la clasificación de la materia, se hallaban por debajo de ella en cuanto al modo de dominarla idealmente, en cuanto a la concepción general de la naturaleza."[2]

La filosofía natural griega y el método filosófico es la unidad donde se desarrollarán y aparecerán como disciplinas específicas las futuras ciencias particulares, y las primeras que podemos diferenciar son las matemáticas y la física teórica; además, en este periodo no existe un cuadro científico del mundo fuera de la concepción filosófica y así cuadro del mundo y filosofía natural coinciden.

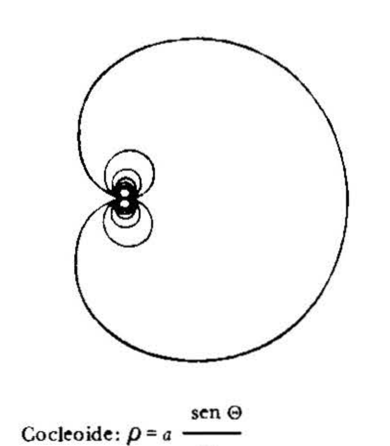
El carácter del saber en ese periodo es especulativo-racional, la prueba del conocimiento estriba para los antiguos en el aspecto lógico-conceptual con subestimación de la realidad empírica. El conocimiento se concibe como el fruto de la contemplación de las esencias eternas.

Aunque en el periodo helenístico se observa un inicio de utilización del método experimental con Arquímedes, este propio filósofo subvaloraba sus experimentos y los consideraba muy inferiores al valor de la lógica y la matemática. Por otra parte, la técnica por lo general se desarrollaba con independencia de las construcciones teóricas y sin la guía de principios generales. El desprecio a la práctica y a la técnica continuó presente como una característica en Platón y Aristóteles, quienes no consideraban necesarias la ciencia aplicada ni la técnica; sólo la ciencia y la filosofía debían desarrollarse por no estar vinculadas a la satisfacción de las necesidades prácticas.

Los conocimientos científicos en la Antigüedad estaban dirigidos a la comprensión de la totalidad, del universo indiviso y se apoyaban en el único método posible en aquellos momentos; el método de la observación. Estas dos circunstancias explican, a nuestro juicio, el predominio de la tendencia integradora de los conocimientos científicos en este periodo. Cuando expresamos como tendencia predominante la integración no ignoramos la existencia de la diferenciación, y el propio hecho de la aparición de conocimientos que expliquen esferas o aspectos de la realidad que los propios antiguos denominaban "ciencia" constituye la prueba de la existencia de la misma, o sea, de la diferenciación. No obstante ello, consideramos que aun en esta diferenciación puede observarse el "sello" integrador.

Por un capricho singular
Desterré de estos espectáculos
Al vegetal irregular.

Charles Baudelaire



Cocleoide: $\rho = a \dfrac{\text{sen}\,\Theta}{\Theta}$

Si analizamos algunos conocimientos que aparecen en este periodo histórico con carácter diferenciado, como son los conocimientos astronómicos, mecánicos, matemáticos, geométricos y lógicos, veremos que en todos ellos el método predominante es el de la observación y que la visión generalizadora está presente en los mismos. En los conocimientos astronómicos que explican el movimiento de los grandes cuerpos —el movimiento mecánico— se parte de los movimientos más generales captados mediante dicha observación. En el caso de los conocimientos matemáticos se busca expresar las propiedades y relaciones cuantitativas de toda la realidad o, mejor dicho, de cualquier realidad; se va a la característica común, al todo con independencia de la cualidad de las partes: la mensurabilidad.

Con los conocimientos geométricos sucede lo mismo, ellos expresan las propiedades o relaciones espaciales de cualquier realidad. En cuanto a los conocimientos lógicos, en ellos se expresan las relaciones y propiedades más universales del pensamiento en general, es decir, de cualquier pensamiento. Ello constituye la manifestación de que la tendencia integradora de los conocimientos científicos constituye la tendencia predominante, y el papel unitario le correspondió en este periodo a la filosofía natural y al método filosófico.

Subperiodo de los siglos III al XVI

La correlación entre integración y diferenciación de los conocimientos científicos había dado lugar, a lo largo de los siglos precedentes, a una progresiva diferenciación cada vez más acentuada, aunque la integración constituyera la tendencia predominante. El elemento de cohesión de dicha integración había sido, según se observó, la filosofía natural. Esta sufriría un proceso de subordinación a la teología en el Occidente cristiano en los primeros siglos de nuestra era, que traería como consecuencia la pérdida de sus rasgos materialistas, e incluso la reducción naturalista del análisis de los fenómenos que aun dentro de los marcos del idealismo lograron Aristóteles y sus seguidores. Este idealismo —la consideración del universo como *naturaleza*— es de carácter autónomo, no subordinado a realidad trascendente alguna, pues el caso más notable que en la Antigüedad se apartó de esta postura, Platón, retornó en su fase "crítica" a ésta, según se supone

2. F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza,* Ed. Política, La Habana, 1979, p. 7.

bajo la propia influencia de Aristóteles.[3]

Las ciencias que a fines del esclavismo y a lo largo de la Edad Media unieron Europa a la filosofía cristiana, heredaron del periodo helenístico y su ulterior desarrollo en Roma un principio de diferenciación entre los conocimientos aunque, según se observó, la integración constituyera el factor dominante. A ello contribuyó la propia concepción del universo como *cosmos*. Esta tendencia a la diferenciación se iría acentuando de manera muy lenta a lo largo del medievo.

La propia bifurcación de la ciencia en dos tendencias en esta etapa responde al problema señalado de la complejidad de los objetos de investigación y a la influencia, en algunas ramas, del pensamiento medieval. Como resumen de esta etapa de tránsito hacia el capitalismo puede señalarse que la filosofía, factor de unidad de los conocimientos científicos, va experimentando de modo creciente la influencia de los descubrimientos científicos particulares, hasta el punto de ser desplazada por un cuadro científico del mundo, conformado por la *física*, en el siglo XVII, hecho que puede ser ya notado en Galileo y marca la ruptura entre ambas etapas.

Este periodo, conocido como Renacimiento en la historiografía, marca también el inicio de una científica global sin precedentes. Sus rasgos característicos fueron la independización paulatina de las ciencias respecto a la teología, que si bien fue proclamada y exigida desde mucho antes, según se observó hubo de imponerse en la lucha contra las autoridades y el propio lastre que la tradición medieval había impuesto aun a los espíritus más libres. También lo fueron, en consonancia con esto, la afirmación definitiva del método experimental como fuente de conocimientos, aunque no se siguiera siempre este principio con toda consecuencia, incluso en el siglo XVII, y de las matemáticas como un lenguaje de la ciencia.

El empleo del término *ciencia* en esta etapa, hasta los inicios de la época moderna, se atiene estrictamente a la acepción que tuvo en dichos periodos, heredada de la clasificación aristotélica, que impregnó el neoplatonismo y fue asimilada por filósofos e investigadores cristianos.

En sus primeras manifestaciones, la filosofía cristiana no abordó las ciencias naturales, salvo para condenarlas. Puede decirse que hasta el siglo III de nuestra era las incorporó con Orígenes, primero que intentó una conciliación, aún incipiente, entre la ciencia y la filosofía, con el predomino de esta última, que ejercía un papel normativo, dependiente a su vez de la religión cristiana. Estas dos posturas, la condenatoria y la conciliatoria entre la ciencia y la filosofía cristiana, y sus contradicciones, caracterizaron la época feudal, a fines de la cual la introducción de la experimentación como método daría lugar a la separación definitiva de los conocimientos científicos en relación con la teología.

Por las razones expresadas hemos de señalar, del siglo III al XV, tres momentos en la evolución de la unidad de los conocimientos científicos. Aunque existe entre las tres un factor común, dado por la subordinación de las ciencias a la filosofía y de ésta a la teología, cuando filosofía y teología no se fundían en un mismo núcleo se presentan rasgos diferenciales que se hace necesario consignar. El primer momento de evolución de los conocimientos científicos se extiende desde la aparición de los primeros sistemas filosóficos cristianos, construidos plenamente como tales y no como simples doctrinas aisladas, alrededor del siglo III de nuestra era hasta el renacentismo carolingio, en el siglo VIII, que coincide con el inicio de la filosofía escolástica.

El segundo momento se marca entre los siglos VIII y XIII. En este último la penetración árabe y judía y la consiguiente difusión del aristotelismo modifica la actitud hacia los conocimientos científicos, a partir de una cierta difusión y práctica de las ciencias sobre las cuales el mundo árabe investigaba, en las que la acumulación de nuevos conocimientos se producía.

El tercer momento abarca desde el siglo XIII hasta mediados del siglo XV. En éste, como resultado de la tendencia iniciada en la etapa precedente, termina cuestionándose, e incluso refutándose, la subordinación de las ciencias a la teología, y circulan cada vez más, a despecho de la Iglesia, tratados en torno a problemas relacionados de algún modo con las ciencias naturales.

Con bastante frecuencia se ha hablado de un total desdén por el método experimental durante la época de fines del esclavismo hasta fines de la Edad Media. Sin que sea posible refutar por completo esta idea, las más recientes investigaciones muestran que los primeros atisbos del método experimental se dan durante la Edad Media. Estos dieron lugar a que tal método experimental fuera definitivamente declarado como única fuente posible del conocimiento científico por Galileo, quien no hizo más que dar forma consecuente a la tendencia que desde hacía más de un siglo se abría paso entre los investigadores de las ciencias naturales y los filósofos progresistas.

Estas razones nos conducen a afirmar que, si bien corresponden estos siglos a lo que hemos llamado primera forma histórica de unidad

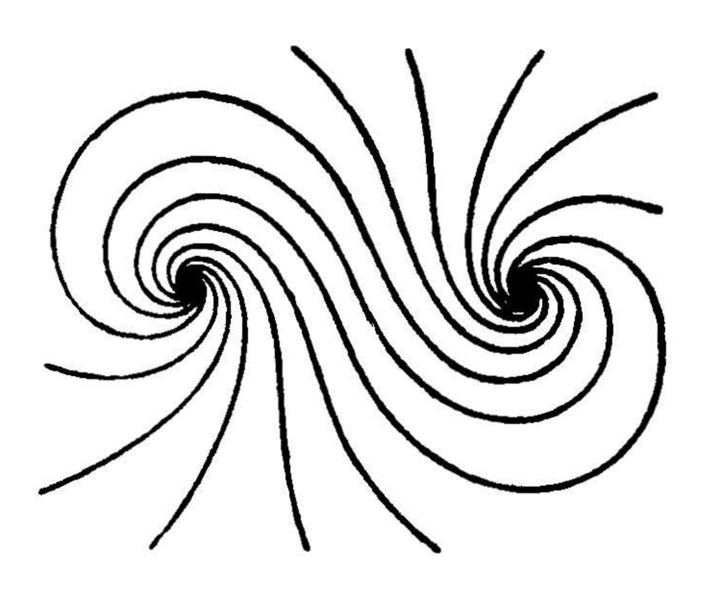
3. Esta opinión es sustentada, entre otros, por V.F. Ausmus en su *Historia de la filosofía antigua.* Ed. "Escuela Superior", Moscú, 1965 (en ruso); por Rodolfo Mondolfo en *El pensamiento antiguo,* Ed. Ciencias Sociales, La Habana, Cuba, 1971, tomo II, por Gomperz en *Filosofía de los antiguos,* tomo 3, Ed. Guarania, Asunción, Paraguay, 1932.

de los conocimientos científicos, al predominar la integración sobre la diferenciación y constituir la filosofía él factor reafirmante desde el punto de vista teórico, no puede tratarse sin señalar la evolución experimentada a lo largo de los siglos por la correlación entre la integración y la diferenciación, la ausencia de elementos del método experimental, al menos a partir del siglo XIII en Europa y desde mucho antes, entre hebreos y árabes. De la Antigüedad grecorromana se había heredado la concepción de la filosofía, bien como ciencia universal, bien como ciencia de las ciencias. Para los antiguos, había sido la *ciencia* por excelencia, en oposición a la *doxa*, incapaz de proporcionar verdades absolutas. A partir de Aristóteles se entendió como el fundamento de todas las ciencias por establecer, tanto la base teórica sobre la cual debían trabajar éstas como el método de demostración y aplicación de cualquier postulado: la lógica formal. Estas variantes, mantenidas a lo largo del periodo "alejandrino", estaban aún en boga en el momento en que surgió y se afianzó la filosofía cristiana, con las consecuencias subsiguientes para el devenir de los conocimientos científicos. De una síntesis entre ambas actitudes se pasará, poco a poco, al predominio de la segunda.

El nacimiento de las relaciones capitalistas de producción se enmarca desde fines del siglo XIV en varias ciudades italianas; durante los siglos XV y XVI ascendieron en algunos países europeos hasta dar lugar, a fines de este último siglo, a la primera revolución burguesa en los Paíse Bajos y, a mediados del XVII, a la revolución inglesa. El ascenso, primero económico y a poco político de la burguesía produjo transformaciones decisivas en el plano del pensamiento y de la ideología en general, hasta el punto de construir un criterio unánime el reconocimiento de los orígenes de la ciencia, en su sentido moderno, en esta etapa, aunque tal proceso se consolida en el siglo XVII. También la filosofía burguesa sienta sus orígenes en este periodo. Se trata de una etapa de transición entre la formación económico-social feudal y capitalista en una parte de Europa, que culminará en periodos diferentes, según las peculiaridades de cada país.

Sus caricias pesaban tan poco
Que surgían senderos
De ellas mismas a cada instante.

Paul Elaurd



Ecuación diferencial:

$$y' = \frac{\left(y \operatorname{tg}\frac{\pi}{6} - x + a\right)(x^2 + y^2) + \left(x - y \operatorname{tg}\frac{\pi}{6}\right)\left[(x-a)^2 + y^2\right]}{\left[(x-a)\operatorname{tg}\frac{\pi}{6} + y\right](x^2 + y^2) - \left(y + x \operatorname{tg}\frac{\pi}{6}\right)\left[(x-a)^2 + y^2\right]}$$

El elevado número de descubrimientos científicos e inventos técnicos y el nacimiento, debido a esto, de nuevas ciencias independientes y la convicción de que la naturaleza había de ser el único objeto de estudio para las ciencias y la filosofía, dieron lugar a que —aunque en esta etapa aún se mantiene como predominante la tendencia a la integración— la diferenciación ocupara un lugar cada vez más importante, hasta resultar que a fines del siglo XVII decayera la filosofía cosmológica renacentista, incapaz ya de solucionar, como elemento aglutinante, el enorme peso de los nuevos conocimientos científicos. Es por esto que en este periodo se hace necesario apreciar que, aunque la filosofía se mantiene, en su variante cosmológica, como factor que reafirma este tipo de unidad de los conocimientos científicos, contra el mismo atenta el progreso científico y la creciente diferenciación.

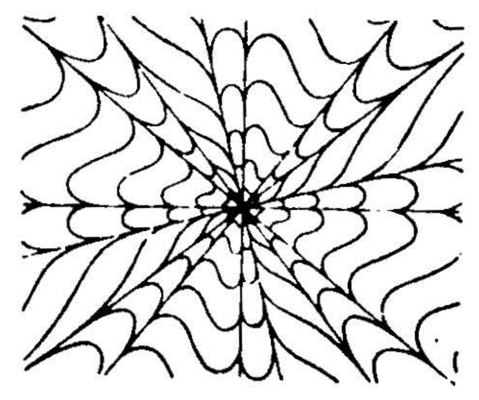
El elevado volumen de hechos acumulados en el ámbito de los descubrimientos científicos acentuó, cada vez en mayor medida, la contradicción entre el creciente proceso de diferenciación de los conocimientos científicos naturales y la integración de los mismos, hasta entonces predominante.

La utilización consciente del método experimental, en vías de tornarse universal, provocó igualmente la diferencia de las formas de aplicación de tal método en cada caso científico particular. De acuerdo con esto, también los objetos de las diferentes ciencias se delimitaron con mayor precisión, hasta desgajarse poco a poco de la filosofía natural. Esta última resultaría, a fines del siglo XVI, incapaz ya de proporcionar unidad conceptual a los conocimientos científicos existentes, que continuarían acumulándose a un ritmo vertiginoso hasta el siglo XVII.

El recorrido por esta primera forma histórica de unidad de los conocimientos científicos, predominante a lo largo de más de veinte siglos, conduce al planteamiento de un problema esencial: durante este largo periodo, el predominio de la integración de los conocimientos sobre la diferenciación se mantuvo como característica fundamental de su unidad afirmada por los principios de la filosofía natural, fuera ésta independiente o no, según el momento histórico. Pero la ruptura total con este orden no se produce hasta el siglo XVI, a pesar del crecimiento experimentado por la tendencia a la diferenciación, desde la llamada "etapa helenística" y que continuó, con diversos matices, a través de toda la Edad Media en Europa y los países árabes. La explosión del conocimiento producida desde la segunda mitad del siglo XV, y que continuó hasta finales del siglo XVII, conformó una revolución científica global. En los siglos XV y XVI con esta revolución científica producida a inicios de la época moderna, culminada en el siglo XVII, se produciría una contradicción entre la integración de los conocimientos científicos y la creciente diferenciación de las ciencias. Se producirá una revolución que afectará también a la filosofía cosmológica como factor reafirmante del precedente tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos. De ahí la caducidad de la filosofía cosmológica desde el siglo XVI y su sustitución por la metafísica.

... el país de las maravillas tan dulcemente soñado.

Lewis Carroll



Ecuación diferencial

$$\rho \frac{d\Theta}{d\rho} = \operatorname{tg}\left(4 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \operatorname{sen} 4\Theta + \frac{\pi}{4}\right)$$

Segundo tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos

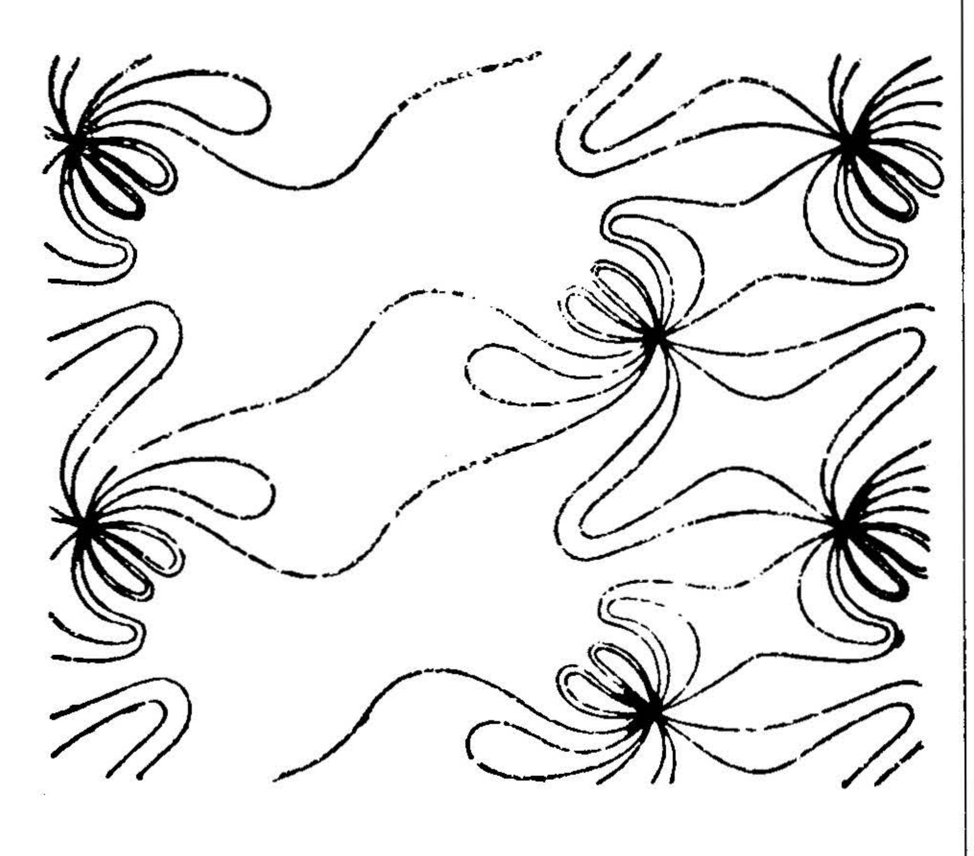
Durante los siglos XV y XVI tienen lugar importantes cambios en la producción material. Es una época de ampliación del comercio marítimo, de crecimiento de las necesidades materiales en general que obliga a utilizar nuevas fuentes de recursos naturales y buscar en las ya conocidas modos de utilización diferentes, con nuevas posibilidades. Es una época en que se presenta la necesidad de resolver problemas prácticos en un grado superior nunca antes enfrentado desde el punto de vista social. Esta situación se expresó, en cuanto a las formas de aprehensión de los fenómenos de la realidad con el fin de su utilización práctica, en un desarrollo cualitativamente superior de la técnica, lo que planteó a la sociedad la necesidad de abordar y resolver los problemas derivados de modo diferente al utilizado hasta ese entonces, con nuevos métodos, nuevas formas de enfocar y desarrollar la actividad humana, nuevas formas de organización de la actividad social.

De aquí se derivan dos características de esta etapa histórica, que son premisas objetivas de las peculiaridades del proceso de unidad de los conocimientos científicos en esta segunda etapa: primero, la vinculación de la técnica como actividad encaminada a la acción directa, inmediata del hombre sobre la naturaleza y la ciencia natural, como factor indispensable para fundamentar y brindar elementos cognoscitivos para esta actividad; segundo, el paso a nuevas formas de organización del trabajo científico, lo cual en cierta medida se halla relacionado con lo anterior.

Ya a principios del siglo XVII se dan las condiciones para un cambio en el carácter del proceso de los conocimientos científicos y, ligado a él, en el papel de los conocimientos científicos dentro del sistema de la producción social. Las ciencias na-

Lujo, ¡oh! sala ébano donde, para seducir a un rey
Se retuercen en su muerte guirnaldas célebres.

Sthépane Mallarmé



Caracol de Pascal transformado por funciones elípticas.

turales continuaban su proceso irreversible de liberación de las influencias teológicas, se consolidaban, diferenciándose entre sí al definir los objetos de estudio específicos de cada una de ellas, proceso que, a la vez que acentuaba la tendencia a la diferenciación, tendía al mismo tiempo a la integración de los conocimientos científicos, ya que la consolidación de los objetos de estudio de cada ciencia en particular tenía lugar, esencialmente, como resultado de un proceso de integración de los conocimientos dispersos, sin clasificar acerca de facetas diversas de los que en realidad eran fenómenos de una misma región de la naturaleza y, lo más importante, en la misma medida que se producía este proceso ganaba fuerza el método experimental en sus primeras fases de desarrollo. La filosofía, por su parte, dejaba de ser "sierva" de la teología y respecto al conocimiento científico la acumulación de material experimental sobre la naturaleza hacía cada vez menos necesarias las especulaciones filosóficas.

La peculiaridad que distingue el segundo tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos es el predominio de la tendencia a la diferenciación sobre la tendencia a la integración. El establecimiento de la nueva unidad de los conocimientos científicos que viene dada como el proceso de resolución de la contradicción creada en el periodo anterior, da lugar a un estudio en el que la tendencia a la diferenciación predomina sobre la tendencia a la integración de los conocimientos científicos a través, ante todo, del desarrollo de las ciencias particulares sin que por ello deje de manifestarse la tendencia a la integración, sobre todo en lo relacionado con la integración de los conocimientos sobre determinadas esferas y la aparición de elementos correspondientes al cuadro científico del mundo.

En este periodo la actividad de Galileo Galilei resultó decisiva para la aparición y establecimiento de uno de los principales factores determinantes de las peculiaridades definitorias de la unidad de los conocimientos científicos: el método científico. Galileo conjugó los métodos experimentales e inductivos con la deducción matemática dando así un peso decisivo en el establecimiento del método de la nueva física y, en esencia, de toda la nueva ciencia. La penetración y el establecimiento de los métodos matemáticos rigurosos unidos a la experimentación y la observación científica que ya venían afirmándose en la actividad investigativa conformaron una peculiaridad esencial del método científico de investigación y contribuyeron decisivamente a la distinción de los conocimientos científicos dentro del sistema general de la cultura humana, convirtiéndose en uno de los factores principales de resolución de la correlación establecida entre las tendencias a la integración y la diferenciación en el anterior tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos.

Por el sentido histórico que tiene dentro del proceso de unidad de los conocimientos científicos del nuevo método científico es que distinguimos a partir de Galileo Galilei la primera etapa en el estabelcimiento del segundo tipo histórico de unidad. La aparición y ulterior establecimiento del nuevo método

científico fue el primer paso hacia el predominio de la tendencia a la diferenciación de los conocimientos científicos en la forma de delimitación de las ciencias particulares.

Con el inicio del proceso de desmembramiento de las ciencias como manifestación del nuevo modo de aprehensión de la realidad comienza a manifestarse un giro en la relación filosofía-conocimiento científico. Los primeros signos comienzan a manifestarse claramente en esta primera etapa cuando en la filosofía el acento comienza a desplazarse del estilo al método. El método en adelante actuará también como factor integrador del pensamiento filosófico como tal y también como factor diferenciador del mismo respecto a las demás formas del conocimiento. Comienza así a establecerse la influencia de las nacientes ciencias modernas hacia la filosofía, proceso que alcanzará su máxima expresión en el siglo XVIII.

Durante esta etapa constituyen elementos importantes en el proceso de diferenciación de las ciencias naturales los resultados alcanzados en la zoología, la botánica y otras ciencias que apenas comenzaban su despegue: el físico inglés Hoocke descubrió la estructura celular de los tejidos vegetales, aunque el papel de la célula permaneció sin explicación durante mucho tiempo; fueron establecidas las bases para el estudio de la anatomía del hombre y William Harvey sentó las bases científicas de la fisiología; se descubrieron los organismos vivos microscópicos; Roberto Boyle dio un apreciable impulso a la química y surgió, si bien es cierto que aún de modo empírico, el concepto de elemento químico y con él, se puede decir, el objeto de la química como ciencia.

Durante el desarrollo del proceso de diferenciación de las ciencias que transcurre clara y definitivamente en vías de su consolidación ya en la presente etapa, resalta como una importante característica de este proceso el hecho de que los cambios más significativos y relevantes por su influencia sobre el proceso de unidad de los conocimientos científicos tienen lugar en la física, las matemáticas y la biología.

La astronomía –y tras ella la mecánica en la siguiente etapa de este tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos– se consolida como ciencia rigurosa capaz de expresar sus leyes incluso matemáticamente. En esta etapa se restablece el atomismo griego clásico, lo cual resultó decisivo en el plano gnoseológico para el conocimiento individual de los cuerpos.

Las matemáticas, a causa de los sustanciales cambios por ellas sufridas, variaron notablemente su papel y sentido con relación al conocimiento científico sobre la naturaleza en general.

De gran importancia resulta la introducción de las magnitudes variables. Con ellas se introducen los "portadores materiales" del movimiento, objetivamente presente en todos los fenómenos, al aparato conceptual de las ciencias, lo que abre el camino para el pleno reflejo del movimiento presente en la naturaleza en forma de leyes rigurosamente formuladas en lenguaje matemático, lo que propicia la completa relación de la expresión del conocimiento científico de la unidad material del mundo. Con este descubrimiento las matemáticas se convierten en un factor que en adelante contribuye cada vez más decisivamente a la distinción entre los conocimientos científicos y los restantes tipos de conocimientos, con lo que resulta uno de sus principales factores integradores.

En esta etapa surge la geometría analítica –de la cual Descartes es considerado inventor aunque se señalan precedentes ya en la cultura griega–, hecho que constituye de por sí el resultado de una síntesis de las ciencias de la geometría –como ciencia acerca de las formas– y las nuevas matemáticas.

Estrechamente vinculados con el interés por definir y descubrir el método del conocimiento científico se hallan los trabajos de Galileo Galilei mencionados y la obra de Francis Bacon y Renato Descartes. Francis Bacon, fundador del materialismo moderno según Karl Marx, planteó una filosofía que reconocía en la contemplación naturalista principios del método analítico, el empirismo, con elementos de la visión teológica. "En Bacon, como su primer creador, el materialismo reúne aún en forma ingenua los gérmenes de un desarrollo multilateral".[4]

A las categorías de la filosofía escolástica, a las disquisiciones especulativas acerca de dios, la naturaleza y el hombre, contrapone Bacon la doctrina de la filosofía natural basada en el proceso de conocimiento experimental. Sus planteamientos están impregnados de la previsión del inmenso papel de la ciencia en la vida de la humanidad en la búsqueda de un método efectivo de la investigación científica. Trabajó en la fundamentación del método empírico y formuló la inducción como método de investigación de las leyes –"formas"– de los fenómenos naturales, con el fin de su aprovechamiento en la práctica humana.

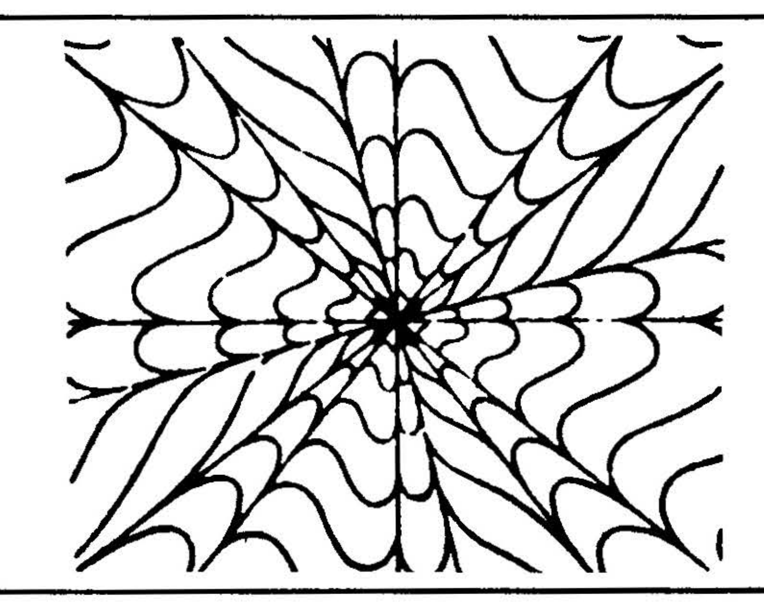
En su labor filosófica, que se establece bajo la atmósfera de auge científico-cultural de la Europa de vísperas de las revoluciones burguesas, propagandizó las ciencias delimitando las esferas del conocimiento científico y de las creencias religiosas, al considerar que la religión no debe inmiscuirse en los asuntos de la ciencia. Francis Bacon ejerció gran influencia sobre todo en una época de desarrollo científico y filosófico y, a pesar de algunas valoraciones no del todo

4. Karl Marx, *OC.* tomo II, pp. 142-143.

justas acerca de ciertos descubrimientos o ideas científicas, fue una expresión del espíritu de la nueva ciencia, sobre todo por su contribución en el establecimiento del método científico a través de su metodología inductiva que fue punto de partida en la elaboración de la lógica inductiva, importantísimo elemento en el establecimiento y desarrollo de las ciencias modernas.

En Renato Descartes la búsqueda y el establecimiento del método científico –característica unificadora de esta etapa– se manifiesta con particular fuerza. Por una parte, Descartes se plantea encontrar la vía que lleva del pensamiento al conocimiento, al saber adecuado, a la estructura del mundo. Además, Descartes subraya la unidad del método. Considera que si bien existen múltiples objetos del conocimiento, el proceso cognoscitivo es uno sólo y, por lo tanto, debe existir un único método para el conocimiento de todos los objetos. En su doctrina sobre el método expresa que la claridad debe ser esencia del camino y llamó a su método, método de la verdadera deducción. Al desarrollar esta concepción Descartes llega a otro significativo resultado en relación con la unidad de los conocimientos científicos: el lugar que corresponde a las matemáticas en el proceso del conocimiento científico. Descartes ve en las matemáticas la deducción pura, y si bien la ciencia no se limita a esto –considera–, ella debe estudiar los objetos capaces de presentarse a la razón con la claridad de los objetos matemáticos.

Descartes formula la esencia, la concepción de las matemáticas como factor integrador del conocimiento científico, al concebirlas como la ciencia que analiza el orden y la medida de los objetos con independencia de la naturaleza de los mismos, ya sean números, figuras, estrellas o sonidos y por ello es capaz de abarcar todo el mundo, explicarlo y convertirse así en doctrina sobre el mundo. Descartes llega, a través de la búsqueda del método, no sólo a contribuir decisivamente a su establecimiento sino, además, a pronunciarse directamente acerca de la unidad del conocimiento científico.



En el periodo que analizamos llama poderosamente la atención en relación con el proceso de la unidad de los conocimientos científicos la obra del filósofo italiano G. Vico (1668-1744). Vico, en polémica con Descartes, contrapone la razón general a la individual y expresa la idea del carácter objetivo del proceso histórico, aunque en su desarrollo consideró como providenciales las propias leyes históricas. Vico es uno de los introductores del principio del historicismo en el estudio del desarrollo de los fenómenos sociales, que después desarrollarían Voltaire, Hegel, Rousseau, Diderot, Fichte, Saint-Simon, Hertzen, principio que alcanza su elaboración consecuente y plena en Marx, Engels y Lenin. Principio que parte de establecer el enfoque de la realidad cambiante, en desarrollo. Gracias a este principio Vico logró una más adecuada visión del periodo del desarrollo de la cultura de la Antigüedad y un acercamiento más acertado al conocimiento del arte, el derecho, la religión, e incluso, de las formas de la vida social y económica en su unidad e interacción.

Con la aparición de la obra de Isacc Newton *Principios matemáticos de la filosofía natural* en 1687, se define lógicamente la segunda etapa de este tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos. En este momento de las ciencias culmina un largo proceso de elaboración de la mecánica celeste heliocéntrica y de la mecánica de los cuerpos sólidos en general y se marca un hito en el desarrollo de todo el pensamiento humano. La elaboración por Newton de la ley de gravitación constituye un paso significativo en relación con el problema filosófico de la integración entre los niveles empíricos y teóricos del proceso de conocimiento científico; este resultado fue la primera gran síntesis teórica científica que influyó decisivamente en la consolidación de la mecánica en el nivel teórico. Igualmente importante resulta el aporte de Newton al proceso de unidad del conocimiento científico. La aparición de la gran síntesis científica presente en sus trabajos es el resultado inevitable de la tendencia a la diferenciación de los conocimientos científicos en su in-

tegración con el proceso de producción material.

A partir de su aparición y durante todo el siglo XVIII y gran parte del XIX, la mecánica constituyó el centro unificador de las ciencias naturales y del conocimiento científico general.

En el transcurso del siglo XVIII fueron alcanzados significativos resultados en el proceso de diferenciación de las ciencias, tanto las ciencias naturales como el conjunto de conocimientos científicos acerca de los fenómenos sociales, dando lugar a un primer cuadro científico del mundo, con la particularidad de que la influencia del núcleo efectivo de este cuadro científico del mundo —el mécanico— por su valor cosmovisivo se hizo sentir tanto sobre las concepciones científico-naturales como en la concepción general del mundo.

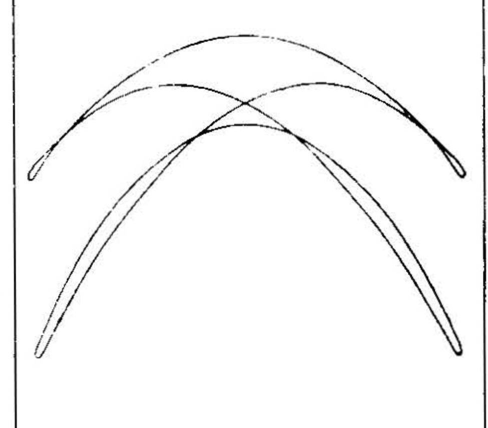
En esta segunda etapa se manifestaron en su máximo desarrollo todas las peculiaridades de este tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos: la búsqueda y establecimiento del método de investigación; la aparición del mecanicismo y el primer cuadro científico del mundo mecanicista y con estilo de pensamiento científico determinista rígido; la aparición del principio del historicismo; el desarrollo de distintas ciencias como consecuencia de sus principios y leyes fundamentales, todo lo cual va a acentuar el predomino de la tendencia a la diferenciación, por su significado, sobre la tendencia a la integración presente también en este momento.

En el siglo XVIII, como muestra del carácter dialéctico de la correlación entre la tendencia a la diferenciación y a la integración de los conocimienos científicos, comienzan a evidenciarse los primeros síntomas de un nuevo cambio en la correlación existente entre la tendencia a la integración de los conocimientos científicos y la tendencia a su diferenciación. Así con Kant podemos marcar el inicio del proceso de desmembramiento de este tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos. Kant aporta, además del ataque decidido contra la concepción del mundo metafísico que se halla presente en su hipótesis cosmológica, un intento de generalización filosófica de los datos de las ciencias naturales de la época —intento presente también en Lomonosov— que caraterizará la interrelación entre la filosofía y las ciencias naturales como sistema de conocimiento en el siguiente tipo de unidad de los conocimientos científicos.

Kant marca la etapa de transición hacia el siguiente tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos. Durante esta etapa transicional —de los últimos años del siglo XVIII al primer tercio del XIX— lo más característico lo constituye la pérdida del predominio de la concepción metafísica, aunque persiste el cuadro mecanicista del mundo.

De monstruo en monstruo, de orugas en larvas gigantes, yo avanzaban agarrándome.

Hénri Michaux



Ecuación algebráica:

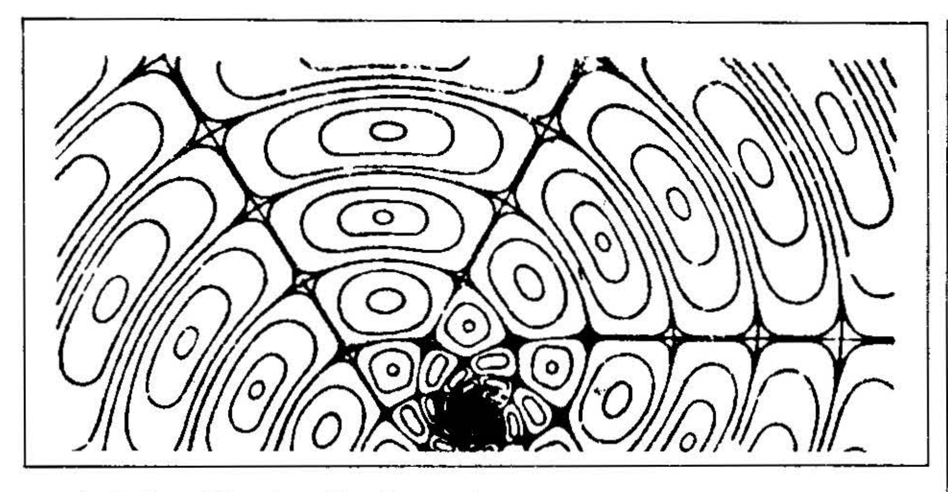
$$20y = (8 + x \pm \sqrt{16 - x})(8 - x \pm \sqrt{16 + x})$$

En este lapso se hace ineludible mencionar el descubrimiento de investigaciones acerca de los procesos eléctricos, las ideas atomísticas de Dalton, los trabajos de Prout, Wohler y Lyel, así como el establecimiento de la teoría celular, la ley de la transformación y conservación de la energía y la ley de la evolución de las especies de Darwin. En el pensamiento filosófico la máxima expresión de esta situación la constituye Hegel, quien llega desde posiciones filosóficas idealistas a la comprensión de la concatenación universal, a la idea del desarrollo y de la ausencia de barreras infranqueables entre lo orgánico y lo no orgánico; en Hegel se expresa el tránsito de la metafísica a la dialéctica como método de interpretación del universo.

Es por ello que con la filosofía clásica alemana y Hegel en particular el proceso de la unidad de los conocimientos científicos recibe un elemento importante para expresar su unidad: *la dialéctica.*

Tercer tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos

Hacia el segundo tercio del pasado siglo XIX se arriba a una nueva fase en el establecimiento de la unidad de los conocimientos científicos, desarrollándose un "movimiento" que se caracteriza por el auge de la tendencia hacia su integración en comparación a su tendencia diferenciadora que, como hemos venido analizando, predomina en todo el periodo histórico precedente. Ello representó el inicio del tránsito hacia un nuevo tipo histórico de la unidad de los conocimientos científicos en la cual, dentro de la correlación mutua entre sus tendencias a la diferenciación y la integración, llegará de nuevo a predominar la tendencia a esta última, si bien a un nivel muy superior cualitativamente a aquél en que lo hizo en la Antigüedad. Este momento corresponde a la época en



que la indagación científica ha pasado del estudio mayormente dirigido a los *objetos* que rodean al hombre, y del estudio de las consecuencias para ellos de los procesos y transformaciones en que se veían envueltos, al estudio de los propios *mecanismos* de dichos procesos y transformaciones, al mismo tiempo que se estudian procesos de un mayor grado de complejidad.

Ahora bien, dichos procesos y sus mecanismos de ocurrencia comenzaron a estudiarse, y no podía ser de otra manera, aisladamente unos de otros; así, se estudiaban los procesos de carácter físico por un lado, los de carácter químico por otro lado, los procesos de carácter social por el suyo, etc. Por ello como era lógico esperar, las primeras manifestaciones del auge de la tendencia integradora de los conocimientos científicos que se abrían paso cada vez más decididamente, hasta nuestros días, tuvieron lugar a partir y junto al mismo proceso de diferenciación de dichos conocimientos. Era lo nuevo, llamado a imponerse más tarde, que surgía en el seno de lo característico para la etapa precedente. Es decir, a partir del segundo tercio del siglo XIX el acento en el desarrollo de los conocimientos científicos se trasladó hacia su tendencia a la integración pero dentro del predominio aún presente de la tendencia a la diferenciación. Se trataba por otra parte de un predominio relativo, de ninguna forma absoluto, que en mayor ritmo de crecimiento de la tendencia integradora de los conocimientos científicos comenzaba ya a horadar.

Así, las nuevas manifestaciones integradoras de los conocimientos científicos surgieron dentro de una u otra de las principales disciplinas en que se venían diferenciando, desde hacía ya tiempo, del cuerpo total de la ciencia de aquel periodo. A saber, dentro de la física el nuevo elemento integrador lo constituye la formulación, en el periodo 1842-45 de la ley de conservación y transformación de la energía; en la biología, tiene lugar a finales de los años 50 del siglo pasado, el desarrollo de la teoría celular y en 1852 se publica la *Evolución de las especies* de Charles Darwin. Por esos mismos años, en 1860, queda reconocida internacionalmente la atomística, que reconocía la existencia no sólo de los átomos sino de sus combinaciones para formar moléculas; la nueva atomística se vería coronada en 1869 con el establecimiento de la ley periódica de los elementos desarrollada por Mendeleev. No hay que ahondar mucho para descubrir la tremenda fuerza integradora de la "tabla periódica" del sabio ruso en todos los conocimientos químicos del siglo XIX.

Pero no sólo en las diversas ciencias naturales particulares fue donde se pusieron en evidencia durante el segundo tercio del siglo XIX las nuevas manifestaciones de la tendencia a la integración de los conocimientos científicos. También en las ciencias sociales, con los trabajos de los creadores del marxismo, Marx y Engels, tienen lugar análogas manifestaciones integradoras en el conocimiento social: el establecimiento del curso natural del desarrollo histórico como la sucesión de formaciones socioeconómicas condicionadas por sus respectivos tipos de relaciones materiales, la teoría de la plusvalía en la economía política y otras.

Por otra parte, en 1863 se concreta la teoría de los reflejos cerebrales de Sechenov, con lo cual en el campo de la psicología se sentaban nuevas bases para el desarrollo de la unidad de las ciencias sobre el pensamiento.

Es especialmente necesario, a juicio nuestro, recalcar estos últimos hechos, pues ocurre que en trabajos referentes a la unidad de los conocimientos científicos —incluso en la literatura marxista— cuando se hace referencia a la tendencia hacia la unidad de los conocimientos en la época que examinamos ahora, y también en sentido general, a veces se manifiesta una cierta inclinación a circunscribir la atención al campo de las ciencias naturales, como si para describir y caracterizar el proceso de la unidad de los conocimientos científicos pudiese hacerse abstracción de los conocimientos sociales y de los conocimientos acerca del proceso del pensamiento.

Vemos así como dentro de una u otra disciplina científica: la mecánica, la termodinámica, la fisiología, la química inorgánica, la economía política, la sociología, la historia, la psicología, etc., surgen en el segundo tercio del siglo pasado nuevos conocimientos científicos que en el seno y junto a la ulterior diferenciación disciplinaria de la época, poco a poco, pero a paso seguro, a lo largo de las décadas de los años cuarenta, cincuenta y sesenta del siglo XIX van

erigiéndose en verdaderas "vigas cimentadoras" de los conocimientos científicos particulares acerca de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento. En el periodo histórico mencionado, el papel integrador de los nuevos conocimientos a que hemos hecho referencia se manifiesta en los marcos de una u otra de las ciencias particulares existentes entonces: la física, la química, la biología, la sociología (entendida como estudio de la sociedad en su totalidad), etc. Todavía habría de transcurrir algún tiempo más para que la potencialidad integradora de los mismos se extendiese de una de dichas ciencias particulares hacia las demás. Por lo tanto puede decirse, convencionalmente, que esta etapa hacia la preponderancia de la tendencia integradora de los conocimientos científicos corresponde a la *unidad intradisciplinaria*, en la que, si bien se hace sentir ya que la tendencia integradora se desarrolla a un ritmo mayor que la tendencia diferenciadora de los conocimientos científicos, lo hace dentro de la estructura disciplinaria del periodo anterior marcado aún por el predominio de la tendencia diferenciadora.

En estas etapas del proceso hacia una cada vez mayor integración de los conocimientos científicos, la unidad de los mismos se manifiesta mayormente dentro de cada ciencia particular por separado, separados metafísicamente de los demás, como reflejo del hecho más general de que la ciencia de la época aún no había sido capaz de enlazar los sucesos que obedecían a diferentes formas de movimiento de la materia. Ello se manifestaba en que, por una parte, aun dentro del campo de las ciencias de la naturaleza inorgánicas, no existían apenas vínculos entre sus diferentes disciplinas y, por otra parte, aún mayor era la separación existente entre ellas y las ciencias que estudiaban "lo vivo" y tanto mayor la separación entre estas últimas y las ciencias de la sociedad y del pensamiento.

A esta etapa se le ha llamado de "la dialéctica espontánea" en el desarrollo de la tendencia hacia la dialectización de los conocimientos científicos, en el sentido de que, si bien a través de los nuevos desarrollos científicos ya mencionados, la dialéctica objetiva de los procesos de la realidad que los circundan era como si "golpeara" a los investigadores científicos; éstos aún, en su inmensa mayoría sin formación dialéctica-materialista, no eran capaces de despojarse de su forma metafísica de pensar. En otras palabras, la dialéctica de los procesos naturales se abría paso entre ellos de manera aún espontánea. Por otro lado, su concepción no científica de los procesos sociales no les permitía captar la dialéctica de la sociedad.

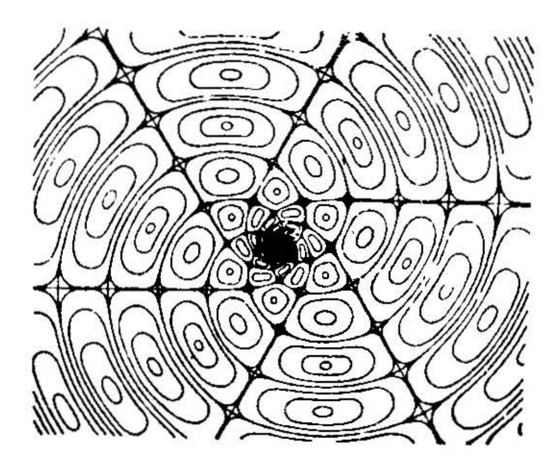
La ciencia del periodo en que nos detenemos ahora, sobre la base de los descubrimientos del segundo tercio del siglo, llegaba ya a la conclusión de la unidad de la composición y de la procedencia de todo el mundo orgánico, desde los organismos inferiores hasta las plantas y los animales superiores. También se había llegado a comprender la vinculación mutua entre las diferentes formas de energía de los fenómenos inorgánicos.

Pero existía aún una separación infranqueable entre lo animado y lo inanimado. Lo mismo podía decirse de lo natural y lo social.

Ello, además de las conocidas condicionantes filosóficas y religiosas, estaba íntimamente relacionado con la ausencia de comprensión por entonces, en la inmensa mayoría de los científicos, de la idea general del *desarrollo*. La idea del desarrollo, es cierto, se venía abriendo paso ya hacía algún tiempo, especialmente en lo que tenía que ver con los fenómenos concernientes a una u otra de las ciencias particulares de la época. Pero áun faltaba extenderla a las áreas fronterizas entre las diferentes ciencias, especialmente al área fronteriza entre la naturaleza inorgánica y la orgánica, y entre la

... mundos de una sardónica realidad
rozando torbellinos de febriles
pesadillas.

Howard Phillips Lovecraf



Ecuaciones diferenciales simultáneas:

$$\frac{du}{dt} = \frac{tg\,u}{tg\,t};\ u = \Theta - \rho;\ t = \Theta - \frac{1}{\rho}$$

naturaleza y la sociedad. Ello obstaculizaba todavía la elaboración de una unidad superior de los conocimientos científicos de aquel periodo.

Ya en el último tercio del siglo XIX se hace evidente la formación de determinadas ciencias "intermedias" o ciencias "puente" entre las diferentes ciencias particulares, proceso que constituye un rasgo muy característico de este periodo de desarrollo de los conocimientos científicos, constituyéndose toda una serie de disciplinas científicas cuyo objeto de conocimiento se hallaba precisamente en el área "fronteriza" entre diferentes formas de movimiento de la materia. Así se desarrollan la fisicoquímica, la teoría electromagnética de Maxwell, la bioquímica, cuyo surgimiento puede trazarse hacia finales de este periodo. Aquí se ve un claro ejemplo de la integración dialéctica entre las tendencias a la diferenciación y la integración de los conocimientos científicos: la creación de *nuevas* disciplinas, es decir, una manifestación de la tendencia a la diferenciación de los conocimientos científicos se transforma en su contraria, al proporcionar la posibilidad de la integración de disciplinas *hasta entonces* independientes; o sea, una cierta manifestación de la tendencia a la integración de los conocimientos científicos. Como resultado de ello, en lugar de las anteriores disciplinas científicas independientes unas de otras, se tienen *más* disciplinas (pues han surgido algunas nuevas) pero vinculadas entre sí; en otras palabras, hay un progreso en la unidad de los conocimientos científicos como resultado de esa cierta equivalencia, que se establece en el periodo descrito, en el papel de su diferenciación y de su integración.

Esta equivalencia aproximada en el papel de las tendencias diferenciadora e integradora se estableció en el último tercio del pasado siglo gracias a que la última creciente de la tendencia integradora, presente desde periodos anteriores, logra para esta fecha eliminar la preponderancia de la tendencia diferenciadora y corresponde a la culminación del periodo de la llamada ciencia clásica.

Pero no había de durar mucho tal relativa equivalencia en el papel de ambas tendencias, ya que la continuación del mayor ritmo de manifestación de la tendencia integradora de los conocimientos científicos debía conducir finalmente a su propia preponderancia. Pero tal dominio de la tendencia a la integración de los conocimientos científicos no podía ya ser el resultado del desarrollo de la ciencia "clásica". Requería que hubiera una nueva revolución en la ciencia que habría de terminar con la correspondencia del cuadro científico "clásico" del mundo con el conjunto de hechos experimentales que debía servir para explicarlo.

En los últimos cinco años del siglo pasado, la ciencia entra, sin duda, en un proceso de transición hacia lo que sería un verdadero salto en el ámbito de la realidad que había abarcado hasta ese entonces. En ese lustro se producen, casi uno detrás de otro, una serie de descubrimientos que pueden ser caracterizados como la materialización del conjunto de los hechos experimentales que proporcionó la base para la formulación de las ideas iniciales ya pertinentes a niveles de la realidad hasta entonces no tocados por el desarrollo de los conocimientos científicos. Estos hechos experimentales fueron: el descubrimiento de los rayos X, de la radiactividad y del electrón.

Este conjunto de descubrimientos abrió las puertas del conocimiento científico hacia ámbitos hasta el momento no sospechados: los procesos subatómicos del micromundo y los procesos del macromundo ocurrentes a velocidades comparables con la velocidad de la luz constituyeron la base experimental para la construcción, durante el primer tercio del siglo XX de la teoría especial de la relatividad (1911), la teoría general de la relatividad (1916) y la mecánica cuántica (década de los años 20), que representaron un nuevo poderosísimo factor integrador para la ciencia de este periodo y su desarrollo ulterior hasta nuestros días.

De esta manera con la elaboración, en el primer tercio de nuestro siglo, de las mencionadas teorías "horizontales", la tendencia hacia el reforzamiento de la unidad de los conocimientos científicos da un nuevo paso adelante; así, las teorías especial y general de la relatividad y la mecánica cuántica reflejan el modo general y común de comportarse de todos los procesos de la realidad, ya sean estudiados por la física, la química, la astronomía, etc., siempre que transcurran a nivel subatómico o compartan la presencia de velocidades comparables a la velocidad de la luz.

Por ello, esta etapa en el desarrollo del nuevo tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos, que comprende en lo fundamental el primer tercio de nuestro siglo, se caracteriza por la *unidad multidisciplinaria*. En esta circunstancia se pone ya de manifiesto que la tendencia a la integración de los conocimientos científicos no sólo se desarrolla a mayor ritmo que la tendencia a su diferenciación (lo que venía sucediendo ya en las etapas anteriores), sino que su papel es ya preponderante en relación a ésta.

Puede decirse que con el transcurso y como resultado de la revolución científica de principios de siglo, se establece ya el nuevo tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos.

Al mismo tiempo, el conocimiento del micromundo y de los procesos comparables con la velocidad de la luz originó además, como se sabe, una verdadera crisis en la interpretación filosófica de los nuevos hechos establecidos

por la ciencia. Ello fue condicionado desde dentro de la ciencia por dos circunstancias que fueron puestas de relieve por Lenin: el paso del conocimiento científico a niveles hasta entonces no estudiados de la materia en movimiento y la creciente matematización de dicho conocimiento.

En el segundo tercio del siglo XX, el proceso de desarrollo de los conocimientos científicos se ve marcado por un aumento significativo del estado de aquellos procesos generales que, haciendo abstracción de su naturaleza concreta, resultan ser comunes a diferentes formas de movimiento de la materia, en tanto en dichos procesos, ya sean químicos, biológicos, físicos, técnicos, sociales, etc., se cumplen un determinado conjunto de requisitos o condiciones que pueden ser fijados con precisión.

Así durante la década de los cuarenta de este siglo surge y se desarrolla la teoría general de sistemas y en los años cincuenta se desarrolla la cibernética. Una particularidad de estas otras disciplinas es la utilización de determinadas ideas iniciales de carácter matemático para la construcción posterior de las teorías correspondientes a determinado círculo de fenómenos. Si las ideas siempre habían jugado un papel muy importante en la segunda etapa de construcción organizada en forma de teoría ya acabada de ideas no matemáticas esbozadas originalmente, ahora son las propias ideas de carácter matemático las que, muchas veces, inician el proceso.

Así tenemos que en el segundo tercio de nuestro siglo se difunden ideas fundamentales como la simetría, entropía, información, organización, etc., que se van originando en conceptos científico-generales con relevancia para todo el conjunto de las ciencias naturales.

Como resultado del proceso, y de las crecientes exigencias por parte del proceso de transformación cualitativa de las fuerzas productivas contemporáneas que se inicia en la década de los cincuenta y que recibió el nombre de revolución científico-técnica, se produce un aumento apreciable en la interacción entre las diferentes ciencias. En particular crece la influencia de las ciencias técnicas, que alcanzan un grado de vinculación —hasta entonces no experimentado— con las ciencias naturales y con las ciencias sociales. De hecho, debe recalcarse que el origen de las ideas sistemáticas y cibernéticas se puede trazar hasta las esferas de la técnica de la dirección y desde allí fueron invadiendo otras esferas del conocimiento.

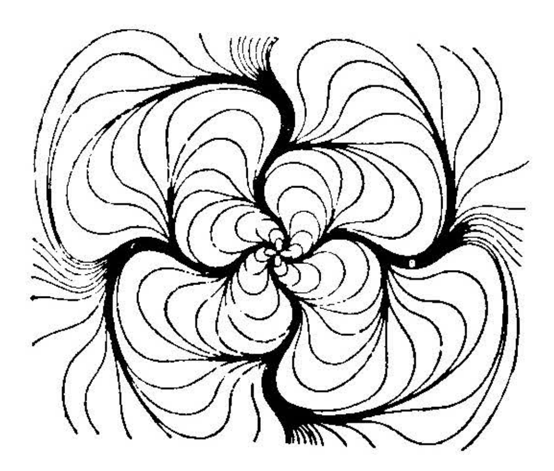
La necesidad de desarrollar estos métodos y conceptos científicos generales respondió a la necesidad de superar la contradicción entre el flujo creciente del caudal de los conocimientos científicos en el segundo tercio del siglo y las posibilidades de su elaboración y asimilación, de modo que con los nuevos métodos científico-generales del conocimiento fuese posible concentrar la atención en la distinción de las regularidades generales de los procesos de la más diversa naturaleza concreta.

Esta nueva etapa —de consolidación— del proceso de desarrollo del nuevo tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos, en base al predominio de su tendencia integradora, que se caracteriza por el enfoque científico general, constituye un reflejo del principio del enfoque integral, abarcador de los procesos bajo estudio que exige la dialectización de la ciencia, que se evidencía cada vez más al pasar en este periodo la ciencia al estudio de procesos que se caracterizan por su amplitud y profundidad.

En los años 60, iniciándose ya el tránsito hacia el último tercio del presente siglo, tuvo lugar el surgimiento de la biología molecular en la que una serie de disciplinas y métodos científicos de diversa naturaleza confluyeron para el

... el álgebra bailó locamente.

Aldous Huxley



Ecuaciones diferenciales simultáneas:

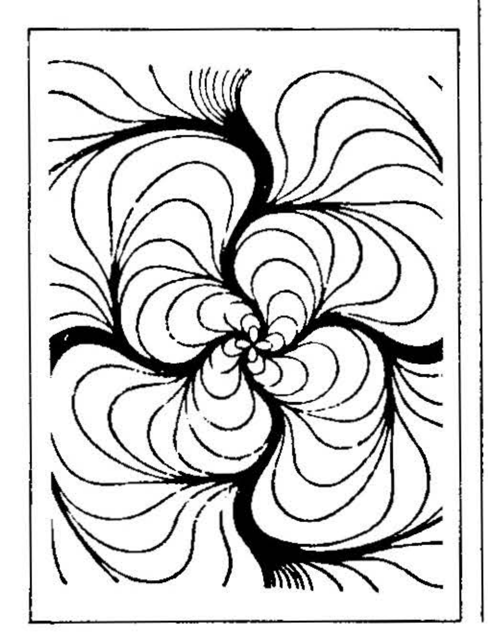
$$\frac{du}{dt} = \text{tg } 2u; = \text{sen } \rho - \Theta;$$

$$t = \int \frac{d\rho}{\rho^2 \cos \rho} + \Theta$$

estudio de las bases moleculares y submoleculares de lo vivo. Ello constituyó la primera manifestación de un rasgo que cada vez cobrará más auge en los años que han transcurrido con posterioridad.

Aunque no existe aún suficiente "horizonte temporal" para hoy en día caracterizar los acontecimientos que se reúnen en la ciencia en este último tercio de siglo, sin embargo parece que asistimos a una transición, ya iniciada con la biología molecular, hacia el establecimiento de lo que algunos llaman "complejo de ciencias", es decir, la unión estrecha entre los enfoques conceptuales y los métodos experimentales de un determinado grupo de ciencias para enfrentar una problemática específica.

Ello lo condiciona el hecho de que el proceso de desarrollo de los conocimientos científicos se ha movido en los últimos años hacia el estudio de los llamados procesos o problemas globales, es decir, complejos de procesos de tanta generalidad y grado de incidencia que afectan prácticamente a toda la humanidad. Así, pueden mencionarse los problemas relacionados con la interpretación abarcadora de la revolución científico-técnica contemporánea y la revolución en el modo tecnológico de producción a que está dando lugar, el problema de la guerra y la paz, el problema de la protección del medio ambiente, los problemas vinculados a la dirección científica de la sociedad, el desarrollo armónico de la personalidad, etcétera.



La mencionada falta de horizonte temporal a que hacíamos referencia no nos permite concluir cuál será el resultado concreto final del proceso de desarrollo de los conocimientos científicos en este último tercio del siglo XX, pero lo apuntado parece ratificar que, en todo caso, se verá ulteriormente reforzado el proceso hacia el predominio de la tendencia integradora en la confirmación de la unidad de los conocimientos científicos.

De esta manera, siguiendo el desarrollo histórico experimentado por la correlación entre las tendencias dialécticamente contrarias hacia la diferenciación y la integración de los conocimientos científicos, es posible constatar la existencia de tres tipos históricos de unidad de los conocimientos científicos, dados por el predominio relativo de una u otra de las mencionadas tendencias.

- Un primer tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos con predominio de su tendencia integradora, que abarca desde la Antigüedad hasta el siglo XVI.
- Un segundo tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos a partir del siglo XVI hasta comienzos del siglo XIX, caracterizado por el predominio de la tendencia diferenciadora.
- Un tercer tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos, que comienza a establecerse a partir del segundo tercio del siglo XIX y se encuentra vigente hasta nuestros días, en el que a un nuevo nivel cualitativo se manifiesta como predominante la tendencia integradora, esta vez como integración sistémica seguida por un cuerpo de conocimientos científicos previamente diferenciados.

Por otra parte, se evidencia una relación entre el tránsito de un tipo histórico de unidad de los conocimientos científicos al segundo con la ocurrencia de las revoluciones en la ciencia.

Bibliografía

1. F. Engels, *Dialéctica de la naturaleza*, Ed. Política, La Habana, 1979.
2. *Idem*, *Anti-Dühring*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1979.
3. V.I. Lenin, *Cuadernos filosóficos*, Ed. Política, La Habana, 1979.
4. B.M. Kedrov, *Clasificación de las ciencias*, Ed. Ciencias Sociales, tomos I y II, La Habana, 1974.
5. *Idem*, *Acerca de la "Dialéctica de la naturaleza" de Engels*, Ed. Visahaya Shkola, Moscú, 1973.
6. *Idem*, *La concepción marxista de la historia de las ciencias naturales, siglo XIX*, Ed. Ciencias, Moscú, 1978.
7. I. Andreiev, *Problemas lógicos del conocimiento científico*, Ed. Progreso, Moscú, 1984.
8. T.P. Voronina, *El papel de las ideas matemáticas en el desarrollo de la teoría física*, Ed. Filosofskiye Nauki No. 1, Moscú, 1985 (en ruso).
9. Ley H. *Geschichte der Auflärung und des Atheismus*. VED Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlín, 1971.
10. E. Przywara, *"San Agustín"*. *Revista de Occidente*, Buenos Aires, Argentina, 1949.
11. A. Mieli, *Panorama general de la historia de la ciencia*, Espasa-Calpe Argentina, S.A., Buenos Aires, 1952, t. II.
12. G. Sarton, *Ciencia antigua y civilización moderna*, FCE, México, 1960.
13. Koyré, A. *Estudios sobre historia del pensamiento científico*, Siglo XXI Ed., S.A., Madrid, 1980.
14. G. Haring, *Schrifton Zur Gezchichte der Naturwissenschften*, Akademie-Verlag, Berlín, 1983.
15. Paolo Rossi, *Los filósofos y las máquinas*, Ed. Labor, España, 1970.
16. Fedossev, *Metodología del conocimiento científico*, Ed. Ciencias Sociales, La Habana, 1975.
17. Varios, *La revolución científico-técnica y las contradicciones del capitalismo* (Conferencia teórica internacional, Moscú, 21-23 de mayo de 1979), Ed. Progreso, Moscú, 1981.

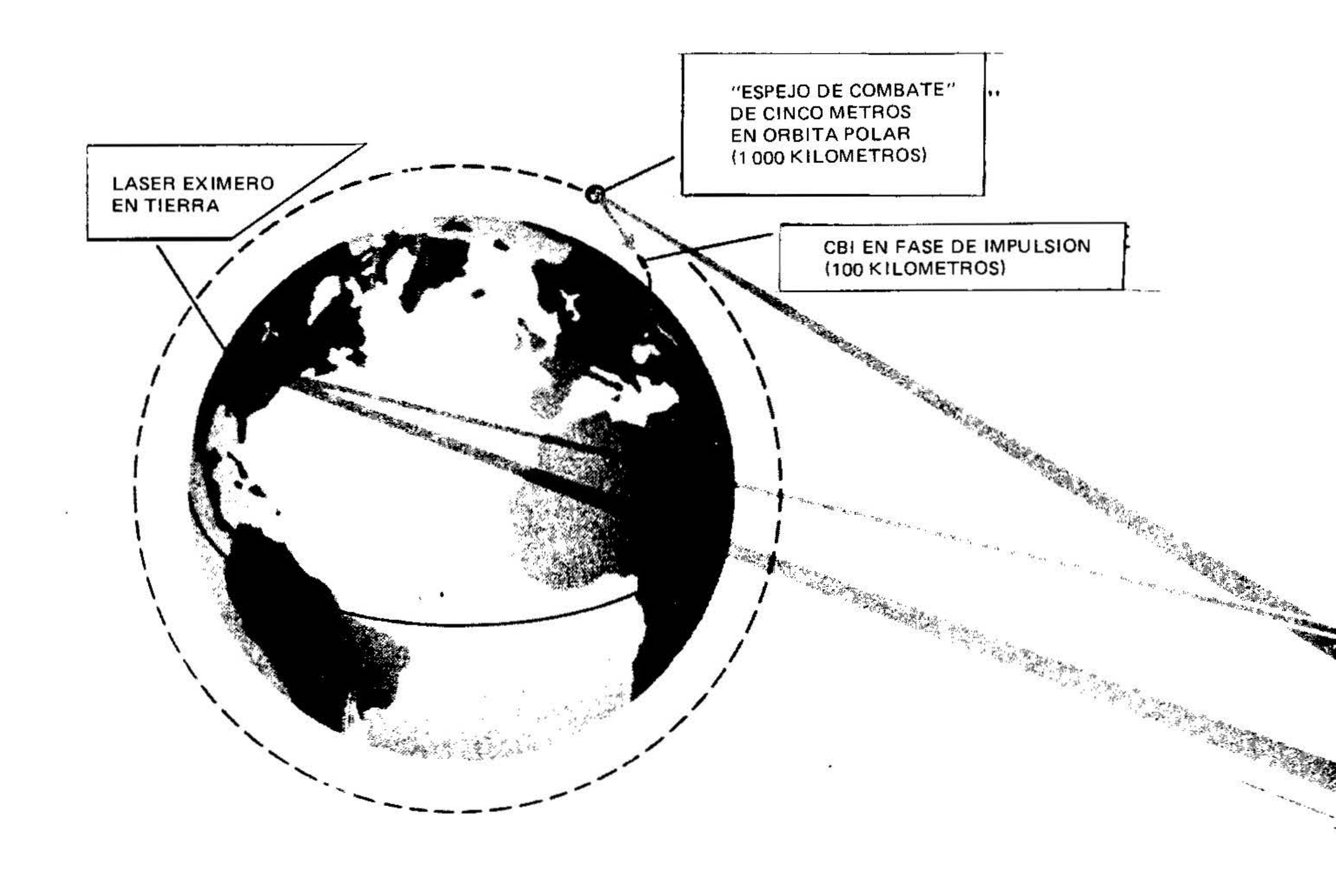


Figura 1. ARMA LASER CON BASE EN TIERRA. Con la ayuda de elementos ópticos en órbita esta arma está diseñada para la intercepción de Cohetes Balísticos Intercontinentales (CBI) en su fase de impulsión, cuando pueden ser fácilmente detectados por las emisiones infrarrojas de su tobera de escape. El láser exímero produce un haz intenso de radiación ultravioleta a la longitud de onda de 300 nm. Un espejo en tierra refleja y envía el haz a otro espejo de 5 m de diámetro colocado en órbita geosincrónica, este espejo refleja el rayo láser sobre otro espejo similar colocado en una órbita comparativamente baja, llamado "espejo de combate", que se encarga de dirigir el haz sobre el blanco.

OPINION

LOS PELIGROS DE LA INICIATIVA DE DEFENSA ESTRATEGICA

Juan Manuel Figueroa Estrada*

El 23 de marzo de 1983, el presidente de los Estados Unidos, Ronald Reagan, anunció en una emisión televisada que "estaba iniciando un esfuerzo quê prometía cambiar el curso de la historia humana", hablaba de un programa de investigación científica para determinar la posibilidad de montar un sistema defensivo contra cohetes balísticos intercontinentales. El programa es ahora conocido con los nombres de "Iniciativa de Defensa Estratégica" (IDE) o "Guerra de las Galaxias" y fue calificado por el mismo Reagan como una "empresa técnica formidable".

Al final de su alocución, el presidente Reagan hizo un llamado a la comunidad científica de los EEUU para que inventaran armas nucleares capaces de convertir a las actuales en obsoletas e impotentes, todo en favor de la seguridad nacional de su país y de una supuesta desnuclearización del globlo terráqueo.

¿En qué consiste este programa de la "Guerra de las Galaxias"?

El proyecto del IDE ha sido publicitado por los estrategas de la

* Departamento de Física. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Apdo. Postal 17-740 México 07000, D.F. México.

Casa Blanca y el Pentágono como la instalación de un sistema de defensa infalible, basado en la colocación de nuevas armas anti-misil en órbitas alrededor de la Tierra en conjunción con un sofisticado sistema de detección y rastreo para la vigilancia y seguimiento de posibles cohetes atacantes.

Las armas que el gobierno de Reagan pretende instalar en el espacio son de varios tipos:

1) Láseres de rayos X.
2) Láseres excímeros, láseres de electrones libres.
3) Rayos de partículas cargadas.
4) Rayos de partículas neutras.
5) Cañones electromagnéticos de alta velocidad.
6) Misiles anticohete.
7) Vehículos no explosivos de aproximación.

Los primeros dos tipos de estas armas serían emplazadas en satélites artificiales en órbitas circunterrestres a 36 kilómetros sobre la superficie del planeta, y tendrían por objetivo a los supuestos misiles enemigos, apenas hayan despegado de sus bases de lanzamiento, para ser destruidos en una zona vecina a la capa atmosférica, y serían dirigidos hacia sus blancos por medio de espejos parabólicos de alta calidad óptica.

El sistema láser podría ser alimentado desde una base terrestre, pero una de sus principales desventajas es que requeriría de grandes cantidades de energía (alrededor del 60 por ciento del consumo anual de energía eléctrica de los EEUU para usarse en unos cuantos minutos) para su buen funcionamiento.

Las armas a base de rayos de partículas neutras o cargadas serían construidas de acuerdo a los bien establecidos principios tecnológicos de los grandes aceleradores de partículas, donde iones negativos alcanzan velocidades cercanas a la velocidad de la luz y son orientados y concentrados por medio de campos electromagnéticos en la dirección requerida. Los in-

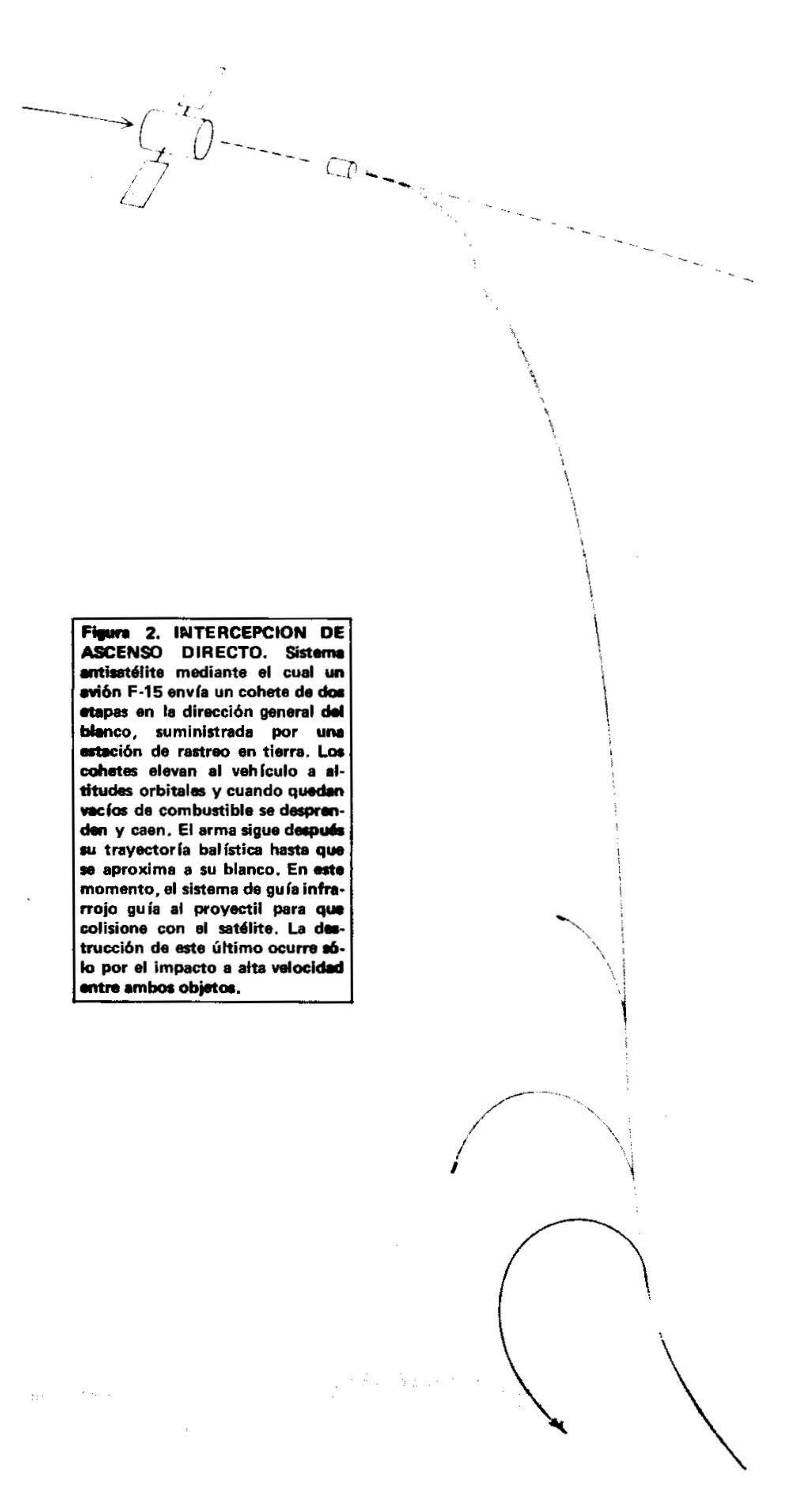


Figura 2. INTERCEPCION DE ASCENSO DIRECTO. Sistema antisatélite mediante el cual un avión F-15 envía un cohete de dos etapas en la dirección general del blanco, suministrada por una estación de rastreo en tierra. Los cohetes elevan al vehículo a altitudes orbitales y cuando quedan vacíos de combustible se desprenden y caen. El arma sigue después su trayectoria balística hasta que se aproxima a su blanco. En este momento, el sistema de guía infrarrojo guía al proyectil para que colisione con el satélite. La destrucción de este último ocurre sólo por el impacto a alta velocidad entre ambos objetos.

tensos haces de partículas cargadas pueden, en su última etapa, ser deionizados consiguiendo con esto una mayor penetrabilidad. Este tipo de armas han venido siendo investigadas por las armadas de los EEUU desde mediados de la década pasada; sin embargo, su utilización en el espacio las haría de mayor eficacia, ya que el haz de partículas es fuertemente distorsionado por la atmósfera.

Los cañones electromagnéticos son armas de las llamadas de "energía cinética" que por medio de la fuerza de Lorentz, creada por la interacción de una corriente eléctrica con un campo magnético, es capaz de acelerar proyectiles convencionales, es decir, balas de cañón, a velocidades del orden de los 25 m/sg. (90,000 km/hr) y podrían ser instalados en satélites, que orbitando alrededor de la Tierra, tuvieran el propósito de dirigir sus municiones en contra de cohetes balísticos intercontinentales en cualquiera de sus etapas de vuelo. El programa de investigación para este tipo de armas recibió de parte del Congreso de los EEUU, 256 millones de dólares para el presente año y, para 1986, hay una solicitud por 860 millones de dólares.

Los misiles anticohete y los vehículos no explosivos de aproximación son esencialmente cohetes de combustión rápida que alcanzan grandes velocidades y que pudiendo ser emplazados en tierra, el mar o el espacio, localizan, siguen y aniquilan a otro cohete en vuelo balístico en los primeros 100 segundos de su vuelo.

En este punto, quisiera hacer un paréntesis para un breve análisis histórico del desarrollo armamentista en lo que va de nuestro siglo y recalcar el importante papel que han jugado los países socialistas, principalmente la Unión Soviética, en el mantenimiento de la paz mundial.

Desde que Marx y Engels establecieron las bases científicas del estudio, conocimiento y análisis del desarrollo histórico de la humanidad y pusieron de relieve la verdadera esencia expoliadora del capitalismo como sistema y expusieron la conclusión de que éste estaba fatalmente condenado a extinguirse y abrir paso a un sistema sin propiedad privada de los medios de producción, sin explotación del hombre por el hombre y sin clases sociales: el sistema socialista, y a partir, sobre todo, del triunfo de la revolución de la clase obrera rusa en octubre de 1917, dos concepciones, dos estrategias, dos lógicas se ubicaron, la una frente a la otra, en todas las áreas del hacer, del conocer y del sentir de los hombres, tanto de manera individual como colectiva: la del imperialismo en desarrollo y la del naciente socialismo.

El maestro Vicente Lombardo Toledano, al referirse a la política exterior de cada uno de los sistemas, definió a una, la del socialismo, como la nueva lógica humanista, de fraternidad, de solidaridad, de coexistencia, de paz, y a la otra, la del imperialismo, como la lógica de rapiña, de violencia, de agresión, de explotación y de guerra, que nace con el capitalismo y nutre en su desarrollo al imperialismo.

Sin establecer estas diferencias esenciales de origen entre uno y otro tipo de sociedades, no es posible entender y analizar científicamente el problema del armamentismo. Porque el imperialismo y sus agentes en cada país han difundido la falacia de que la responsabilidad de la escalada armamentista y la amenaza de un conflicto nuclear recae por igual en las dos potencias más grandes del mundo, los Estados Unidos y la Unión Soviética, versión que tiene el claro objeto de confundir a los pueblos respecto de sus verdaderos enemigos para restarles fuerzas y vigor a sus legítimas luchas en demanda del desarme y la coexistencia pacífica.

Sin embargo, los hechos históricos se contradicen violentamente con la tesis de "igual responsabilidad". Baste señalar el liderazgo que mantienen los Estados Unidos en el desarrollo de nuevas armas en este siglo, sin contar las múltiples agresiones e invasiones sufridas por tantos y tantos pueblos del planeta. La producción y desarrollo de armas nucleares y convencionales es para las grandes industrias transnacionales de los EEUU, un asunto de ganancia, el capital no tiene moral, conciencia, sólo ganancia e intereses y este hecho domina a la política armamentista de los EEUU.

Sólo para referirme al desarrollo de las armas nucleares, baste mencionar que en agosto de 1945, los EEUU anunciaron al mundo por primera vez la aparición del arma más peligrosa en la historia de la humanidad: el arma atómica. No sólo se conformaron con construirla, sino que la emplearon sin necesidad militar alguna, contra los habitantes pacíficos de Hiroshima y Nagasaki. No fue sino 4 años después que la URSS, amenazada con la guerra fría tuvo que desarrollar esta terrible arma nuclear. A mediados de los años cincuenta los EEUU desarrollan los bombarderos nucleares de largo alcance y emplazan armas nucleares en submarinos, la URSS se ve obligada a hacer lo mismo a fines de esa década. Los EEUU cuentan con portaviones nucleares y bombas de neutrones que la URSS no ha querido desarrollar.

Estos son sólo algunos de los hechos históricos más relevantes del armamentismo en nuestro siglo. No es posible tener una idea correcta de quién realmente amenaza la paz sin un análisis concreto de las fuerzas armadas, las proporciones de la producción militar, la esencia de la estrategia militar, así como de la orientación de la política exterior de país que constituye la principal fuerza de la OTAN: los EEUU.

Por otra parte, quiero resaltar el hecho de que las dos grandes guerras más importantes de nuestro siglo han sido guerras de origen imperialista entre países capitalistas, por el dominio del mundo y en ellas el pueblo soviético ha desempeñado un papel en favor de la paz muy importante. El desarrollo del socialismo en sí, ha servido como un freno a las ambiciones expansionistas de los países capitalistas desarrollados y ha salvado a la humanidad de enfrentamientos aún mayores. Sólo mediante el cabal entendimiento de este hecho es posible concebir que la lucha por la paz es inherente al socialismo y a la ampliación de las perspectivas de la humanidad.

Es en este marco en el que hay que ubicar el programa de la Iniciativa de Defensa Estratégica que, sin embargo, no contiene ninguna novedad para los estudiosos del tema ni presenta un cambio sustancial en la política belicista de los EEUU, porque no es sino la consecución de un plan estratégico militar que el gobierno de los EEUU ha venido desarrollando desde principios de los años 70. Al revisar publicaciones científicas de diversa naturaleza, se puede afirmar que las investigaciones y ensayos en materia de armas de energía dirigida (láser y partículas) comenzaron mucho antes de que el presidente Ronald Reagan anunciara su Iniciativa de Defensa Estratégica.

Por ejemplo, en julio de 1983, el Departamento de Defensa reconoció que un láser de alta potencia a base de CO_2 había sido utilizado para destruir cinco misiles "Side Winder" a una velocidad de vuelo de 3,500 km/hr, desde un avión KC-135, lo cual es bastante significativo, tomando en cuenta que el estudio, diseño y desarrollo de estas armas significan muchos recursos económicos y años de investigación.

Las fuerzas armadas de los EEUU disponen en este momento ya, de armas de energía dirigida para uso convencional y más que proseguir el establecimiento de un "Escudo Estratégico" el empleo de tales medios exacerba la carrera armamentista creando una psicosis bélica sin precedentes.

Lo único nuevo, después del discurso del presidente Reagan es la mayor amplitud de las investigaciones para el desarrollo de nuevas armas y la gran cantidad de recursos económicos ahora disponibles para producirlas y desplegarlas en sus bases militares, espaciales o terrestres.

Nos preguntamos ahora, ¿cuáles son las verdaderas intenciones detrás de la Iniciativa de Defensa Estratégica?

Nunca antes la administración de un gobierno norteamericano había abusado, como ahora lo hace Reagan, tan cínicamente, del vocablo "defensa".

Con la instalación de los cohetes Pershing II en Europa, el corazón de la Unión Soviética está ahora a menos de 7 minutos de al-

2 MINUTOS

1. Primeros 2 minutos: lanzamiento simultáneo de miles de cohetes balísticos intercontinentales y 4 ó 5 desde submarinos. Se obtienen las primeras señales vía sensores infrarrojos colocados en satélites y por radar, indicando el ataque.

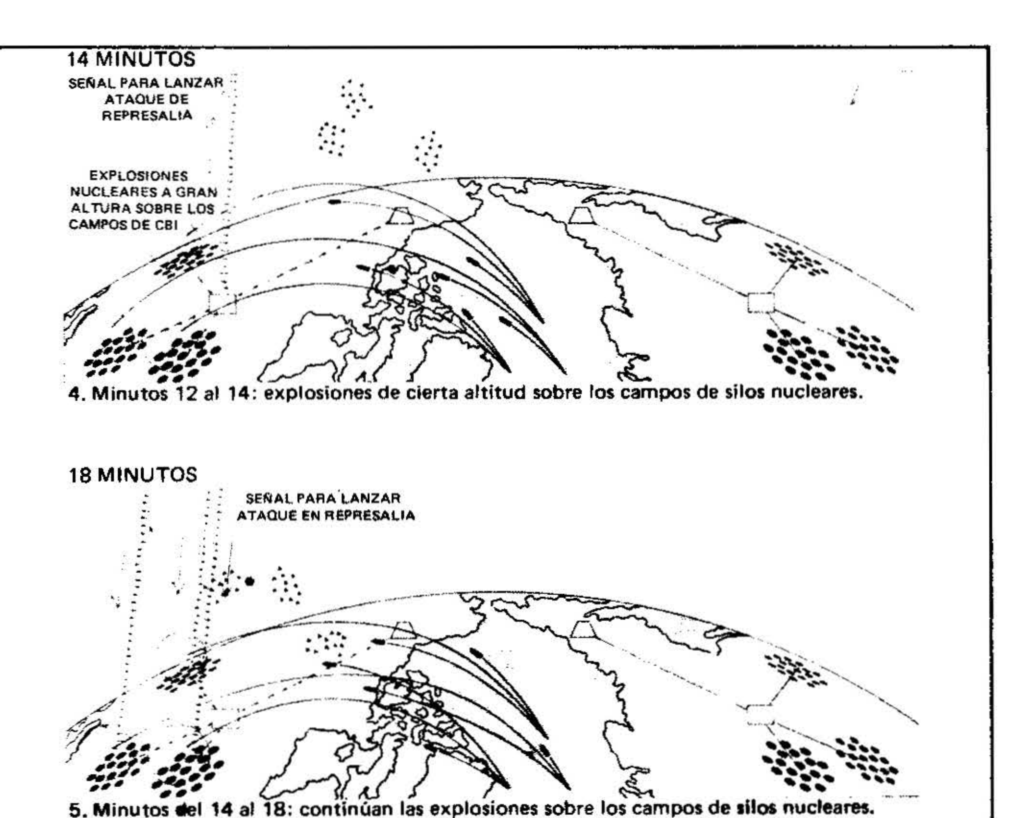
7 MINUTOS

2. Minutos 2 al 7: único tiempo disponible para decidir y ejecutar un contrataque. Al minuto 7 probable daño a los centros de comunicación por el pulso electromagnético generado por explosiones nucleares exoatmosféricas.

12 MINUTOS

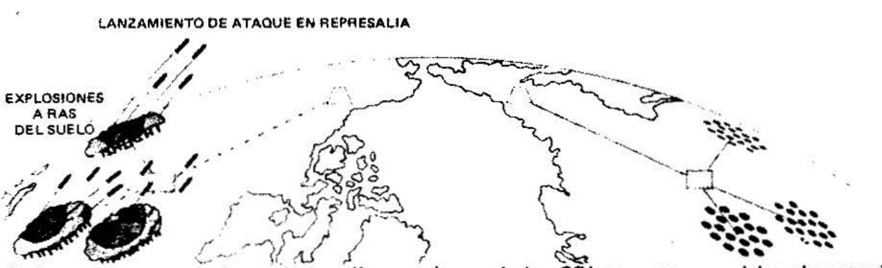
3. Minutos 7 al 12: lanzamiento de cohetes desde submarinos, a intervalos de un minuto, sobre bases de silos nucleares en tierra.

Figura 3. En estas gráficas se representan en orden cronológico las etapas más importantes de un ataque nuclear hipotético:



4. Minutos 12 al 14: explosiones de cierta altitud sobre los campos de silos nucleares.

5. Minutos del 14 al 18: continúan las explosiones sobre los campos de silos nucleares.



6. Las primeras explosiones de las ojivas nucleares de los CBI ocurren a ras del suelo entre los 25 y 30 minutos después de iniciado el ataque.

cance del comando estratégico de los EEUU, y con el despliegue de los cohetes crucero, contra los cuales todavía no hay sistema de defensa alguno, la estrategia del primer golpe nuclear contra la URSS va tomando forma. La Iniciativa de Defensa Estratégica es sólo la pieza faltante para completar el cuadro de esta tan buscada política del primer golpe.

Una serie de estudios altamente autorizados demuestran que todo el conjunto de sistemas planeados hasta hoy y que constituyen el núcleo de la Iniciativa de Defensa Estratégica (ver por ejemplo *Physics Today* junio 1985 y *Scientific American*, octubre de 1984), no pueden garantizar un 100 por ciento de efectividad en contra de cohetes balísticos intercontinentales. De acuerdo a varios especialistas estadounidenses en defensa, "incluso un 95 por ciento de protección segura sería insuficiente para preservar a cualquier sociedad de la desintegración en la eventualidad de una guerra nuclear generalizada".

La administración Reagan sigue esgrimiendo el mito de la amenaza soviética como única justificante tanto para una mayor acumulación de nuevos armamentos nucleares como para el desarrollo de la Iniciativa de Defensa Estratégica.

Esta falta de base sólida de los razonamientos oficiales del gobierno de Reagan sirve para descubrir las verdaderas intenciones con que se ha elaborado el plan de Guerra de las Galaxias.

Diversas publicaciones científicas (entre ellas la destacada revista *Scientific American*, en su edición de octubre de 1984, y la revista *Physics Today*, en su número de junio de 1985) señalan que el "programa de defensa conocido por el público como Guerra de las Galaxias no servirá para una protección eficaz contra un ataque nuclear. Antes bien, acelerará la carrera armamentista". Un destacado científico, Hans A. Bethe, en un serio análisis destaca que: "las armas nucleares desplegadas en el espacio serían potentes armas antisatélites y, como tales, podrían usarse para destruir la red de alerta temprana y los satélites de comunicaciones del adversario, obligando a adoptar decisiones cruciales con una rapidez que no corresponde a la velocidad de raciocinio del hombre. Su conclusión no deja lugar a dudas: "ningún sistema de defensa estratégico conseguirá rechazar un ataque generalizado, pero sí sería bastante eficaz en contra de un golpe de represalia débil, lanzado a continuación de un ataque general preventivo".

En conclusión, se puede afirmar que el sistema de defensa estratégico no tendrá efectividad favorable en caso de un ataque masivo a Estados Unidos de parte de la URSS, lo cual, por lo demás, es improbable como lo muestra la historia y lo corroboran todos los días las declaraciones del gobierno soviético. El sistema de Guerra de las Galaxias sólo tendría efectividad práctica en caso de que se orientara a nulificar la probable respuesta

soviética en caso de descargar el Pentágono el "primer golpe nuclear", lo cual lo ubica objetivamente, como un sistema de agresión ajeno completamente a cuestiones defensivas.

Aquí es donde radica el verdadero motivo de este programa de "Guerra de las Galaxias": la naturaleza de espada y escudo de la política militar de Reagan, que por una parte produce masivamente misiles de primer golpe y por la otra trata de desarmar a la Unión Soviética mediante el programa de defensa estratégica, política que está enfilada a crear condiciones para que los EEUU puedan iniciar y "prevalecer" en una guerra nuclear. Por tal razón la mayoría de los pueblos y gobiernos del mundo se oponen resueltamente a esta estrategia apocalíptica, porque tienen la suficiente experiencia histórica para comprender los verdaderos objetivos de Estados Unidos y porque saben que a las armas no se les puede combatir con las armas.

Las acciones masivas de los movimientos de la paz y la posición de principios asumida por los países socialistas, los no alineados, y otros, han forzado al gobierno de Reagan a comenzar nuevas negociaciones con la Unión Soviética. Este es sólo el comienzo. Por ello, se requiere de grandes campañas internacionales amplias para denunciar la esencia de la llamada Guerra de las Galaxias estadounidense, con el objeto de obligar al Pentágono a asumir un compromiso real orientado al logro del desarme y en favor de la paz mundial.

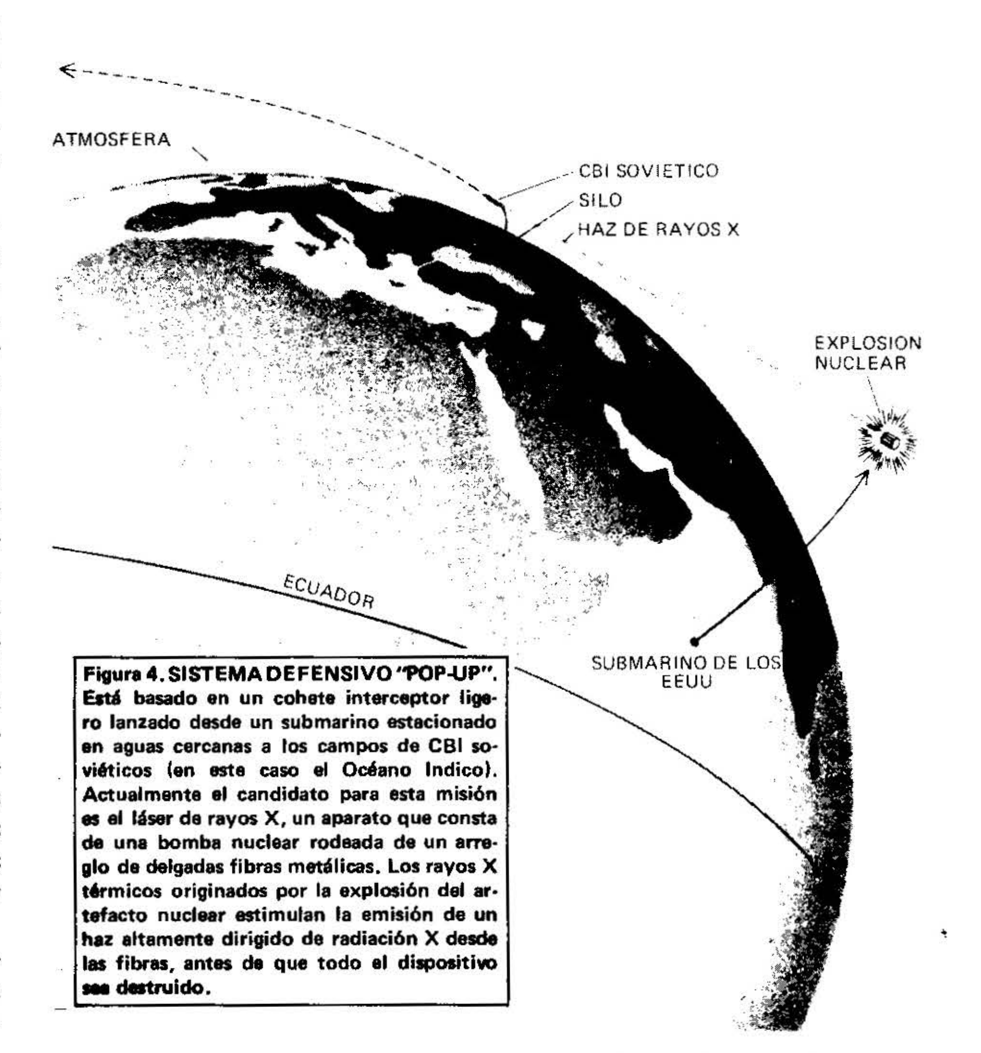


Figura 4. SISTEMA DEFENSIVO "POP-UP". Está basado en un cohete interceptor ligero lanzado desde un submarino estacionado en aguas cercanas a los campos de CBI soviéticos (en este caso el Océano Indico). Actualmente el candidato para esta misión es el láser de rayos X, un aparato que consta de una bomba nuclear rodeada de un arreglo de delgadas fibras metálicas. Los rayos X térmicos originados por la explosión del artefacto nuclear estimulan la emisión de un haz altamente dirigido de radiación X desde las fibras, antes de que todo el dispositivo sea destruido.

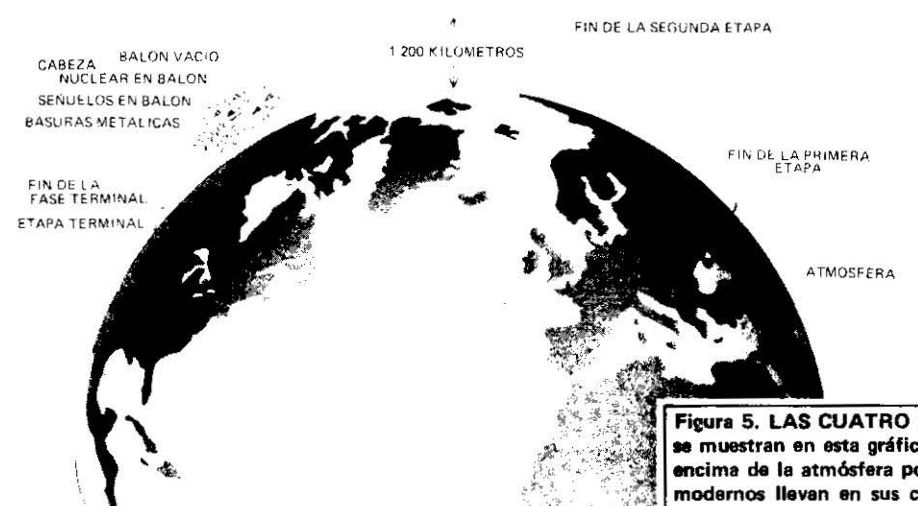


Figura 5. LAS CUATRO FASES DISTINTAS DEL VUELO DE UN CBI se muestran en esta gráfica. En la fase de impulsión el CBI es llevado por encima de la atmósfera por los cohetes de varias etapas. Los cohetes más modernos llevan en sus cabezas vehículos de reentrada múltiple (VRM) que son liberados siguiendo una cierta secuencia y en las primeras fases de vuelo. Si el país que está siendo atacado cuenta con un sistema de defensa es posible que el CBI libere varios señuelos para burlar tales defensas. En la fase intermedia los VRM y los señuelos siguen aproximadamente las mismas trayectorias balísticas. En la etapa final los vehículos entran de nuevo en la atmósfera y la nube de señuelos es frenada rápidamente por la fricción.